Digitized by the Internet Archive
in 2012 with funding from
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School

http://www.archive.org/details/dieschallundtons00vier

Karl Vierordt.

DIE

SCHALL- UND TONSTAERKE

UND DAS

SCHALLEITUNGSVERMOEGEN DER KOERPER

PHYSIKALISCHE UND PHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

VON

KARL VON VIERORDT
DOCTOR DER MEDICIN, CHIRURGIE, GEBURTSHILFE UND NATURWISSENSCHAFT,
PROFESSOR a. D. DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN,
COMMENTHUR UND RITTER,
MITGLIED DER K. BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

NACH DEM TODE DES VERFASSERS HERAUSGEGEBEN UND MIT EINER BIOGRAPHIE DESSELBEN VERSEHEN

VON

DR. **HERMANN VIERORDT**
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN.

MIT DEM BILDNIS DES VERFASSERS.

TÜBINGEN, 1885.
VERLAG DER H. LAUPP'SCHEN BUCHHANDLUNG.

BOSTON MEDICAL
DEC 31 1919
LIBRARY

29.6.16

DRUCK VON H. LAUPP IN TÜBINGEN.

VORWORT DES HERAUSGEBERS.

Die Veröffentlichung vorliegender, von meinem Vater hinterlassenen Schrift, ist mir eine wahre Herzenssache gewesen. Die Arbeit mehrerer Jahre ist in ihr enthalten, und sicherlich keine leichte Arbeit. Wer Untersuchungen, wie die hier vorliegenden, selbst gemacht hat, weiss es zu würdigen, dass hier nur Ausdauer und angestrengte, auf die eine Aufgabe concentrierte, Thätigkeit Erspriessliches zu leisten vermochte. Von manchen bisher unbeanstandeten Satzungen der Physik weichen die hier vorgetragenen Lehren in verschiedenen und wesentlichen Punkten ab, die nötige experimentelle Begründung giebt die Schrift selbst.

Die Drucklegung des Werkes konnte für den, der mit dem Stoffe einigermassen vertraut ist, Schwierigkeiten nicht haben. Ich hatte ein in der Hauptsache fertiges Manuskript überkommen, an welchem bloss die Ordnung der Paragraphen, die Herstellung der Figuren, die Verweise, einzelne kleine Rechnungen etc. zu ergänzen waren. Trotz alledem mag an einigen Stellen eine letzte, freilich bloss dem Autor selbst zustehende, Redaktion vermisst werden. —

Die dem Werk beigegebene kurze Biographie des Verstorbenen habe ich auf besonderen Wunsch der löbl. Verlagshandlung geschrieben und glaubte mich diesem Auftrage nicht entziehen zu sollen. Ein reiches, fruchtbarer wissenschaftlicher Arbeit gewid-

metes, Leben zu skizzieren, ist eine schöne Aufgabe, die ich in diesem Falle durch etwas mehr, als blosse kindliche Pietät gegen den Verstorbenen, motiviert glaube. Und so wird, wie ich hoffe, der Umstand, dass der Sohn es ist, welcher die Biographie des Vaters schreibt, die Objektivität kaum beeinträchtigen können da, wo lediglich den Thatsachen das Wort zu erteilen ist.

Tübingen, 21. April 1885.

Hermann Vierordt.

INHALTSVERZEICHNIS.

Seite

Zum Andenken an KARL VON VIERORDT . . . I—XX

§ 1. Aufgaben 1

Erster Teil.

Herstellung und Messung von Schallen und Tönen von beliebiger Stärke.

2. Princip der akustischen Intensitätsmessung 9
3. Die physiologische Empfindungsschwelle als erstes Hilfsmittel für physikalische, insbesondere akustische Intensitätsmessungen . . 16
4. Die Unterscheidungsempfindlichkeit für Schall- und Tonstärken als zweites Hilfsmittel der akustischen Intensitätsmessung . . . 21
5. Das Phonometer 26
6. Schallconductoren 31
7. Das vereinfachte Phonometer 35
8. Das akustische Intensitätsmass 38
9. Bestimmung des Exponenten ε der Fallhöhe nach Oberbeck . 42
10. Die Exponenten ε der Fallhöhe beim Hören von Schallen aus der Luft unter Anwendung von Schallquellen und Fallkugeln verschiedenen Materiales 47
11. Die individuelle akustische Dynamie 59
12. Die Schwankungen der individuellen akustischen Dynamie . . 67
13. Vergleichung der akustischen Dynamie beider Ohren . . . 74
14. Die akustische Dynamie in einem Fall von einseitigem Ohrkatarrh . 77
15. Abhängigkeit der Schallstärke von dem Material des Phonometers 80
15a. Vergleichbarkeit der an Phonometern verschiedenen Materiales angestellten Schallstärkemessungen 84
16. Abhängigkeit der Schallstärke von dem Gewicht der Phonometer desselben Materiales 89
17. Einfluss der Aufschlagstelle des Fallgewichtes, sowie der Unterlage der Phonometerplatte auf die Schallstärke 91
18. Einfluss der Länge des Conductors 95
19. Einfluss des Querschnittes des Conductors 97

Seite

§ 20. Massive und hohle Conductoren (Stethoskope) 100
21. Das Schallpendel 106
22. Die Schallstärken des Schallpendels 109
23. Bestimmung des Exponenten ε der Sinus der Elevationswinkel des Schallpendels 112
24. Die phonometrische Vergleichung qualitativ verschiedener Schalle und Töne 114
25. Vergleichung der Schallstärkemessungen verschiedener Personen. — Unabhängigkeit dieser Messungen von der akustischen Dynamie der Individuen. Die allgemeine akustische Dynamie 115

Zweiter Teil.

Die Messung des Schalleitungsvermögens der Körper.

I. Die allgemeine Methodik und Technik des Experimentierens.

26. Die bisherigen Untersuchungen über die Schalleitungsfähigkeit der Körper 119
27. Die erste Messungsmethode des Schalleitungsvermögens von Medien jedweder Aggregatform mit Hilfe der Schwellenempfindung . . 124
28. Die zweite Messungsmethode des Schalleitungsvermögens der Körper mit Hilfe von Schwellenempfindungen von beliebiger Stärke . . 126
29 u. 30. Einfache Berechnungsweisen der Schwächung des Schalles bei dessen Fortleitung. § 29. Erstes Verfahren 128
§ 30. Zweites Verfahren 129
31. Berechnung der Schallschwächung bei dessen Fortpflanzung durch Leiter nach Fechner 132
32. Vergleichende Uebersicht der verschiedenen Berechnungsweise der Schwächung des Schalles bei dessen Leitung 138
33. Die Uebergangswiderstände 140
34. Die Messung der Schallschwächung in der Substanz und an der Oberfläche der Leiter 146
35. Berechnung des wahrscheinlichen Messungsfehlers 149
36. Abänderung der Reihenfolge der schalleitenden Schichten . . 153
37. Wegfall eines Uebergangswiderstandes in einer Reihe schalleitender Schichten 158
38. Die variabelen und constanten Widerstände bei der Leitung des Schalles 160

II. Schalleitung durch starre Körper.

39. Die Technik der Messung des Schalleitungsvermögens starrer Körper 163
40. Schalleitung durch starre Körper mit grossen innern Widerständen . 167
41. Schalleitung durch starre Körper mit geringen innern Widerständen . 174
42. Schalleitungsfähigkeit verschiedener Holzarten 181
43. Schalleitung durch Holz in der Längs- und Querrichtung der Fasern 184
44. Fortpflanzung des Schalles in einer grossen Holzmasse . . . 187
45. Schalleitung durch Eis, Alabaster, Marmor und Blei . . . 193
46. Die Schallschwächung durch ein zusammengesetztes System starrer Schalleiter von veränderlicher Länge 199
47. Messung der Schallschwächung im Telephon 202

Seite

III. Schalleitung durch tropfbare Flüssigkeiten.

§ 48. Die Messung der Schwächung des Schalles bei dessen Fortleitung in tropfbaren Flüssigkeiten 206

49. Der Intensitätverlust des Schalles bei seiner Leitung durch Wasser, gemessen mittelst Schwellenempfindung 210

50. Messung der Schwächung des Schalles bei dessen Fortleitung durch Wasser mittelst starker Schwellenempfindungen 215

51. Leitung des Schalles durch verschiedene tropfbare Flüssigkeiten . 219

52. Schalleitung in grösseren Wassermassen 222

IV. Schalleitung durch elastische Flüssigkeiten.

53. Messung der Schwächung des Schalles bei seiner Fortleitung durch Luft mit Hilfe der Schwellenempfindung 225

54. Schwächung des Schalles bei seiner Leitung durch Luftsäulen von verschiedener Länge 227

55. Schwächung des Schalles bei seiner Leitung durch Luftsäulen verschiedenen Querschnittes 230

56. Die Schwächung des Schalles bei dessen Fortpflanzung in einem grösseren Zimmer 235

57. Die Schwächung des Schalles in der freien Luft 238

V. Schalleitung durch Teile des menschlichen Organismus.

58. Die bisherigen Erfahrungen über die Schalleitung durch die Körperteile zum Ohr 245

59. Messung der Schallschwächung bei der direkten Leitung der Schalle von verschiedenen Körperstellen zum Ohr 248

60. Schwächung des Schalles bei dessen Durchgang durch Teile des lebenden Menschen 256

61. Die Anwendung der Phonometrie zur Diagnose von Knochenbrüchen 265

62. Die Schalleitung im Gehörorgan 266

Dritter Teil.

Die Messung der Intensität gegebener Schalle.

63. Verwendung des Schallschwächungsvermögens der Körper zur Messung der Stärke des Schalles 269

Druckfehler:

Seite 161, Zeile 20 von oben lies Tabelle 113 statt 112.

ZUM ANDENKEN

AN

KARL VON VIERORDT

BOSTON MEDICAL
DEC 31 1919
LIBRARY

Am 1. Juli 1818 ist Karl Vierordt zu Lahr in Baden geboren als der Sohn des damaligen Diaconus, späteren Geh. Hofrats und Lyceumsdirektors in Karlsruhe, Dr. theol. Carl Friedrich Vierordt; seine Mutter, eine geborne Preu, war eine Lahrer Kaufmannstochter. Die bald darauf erfolgte Versetzung des Vaters nach Karlsruhe verlegte die Jugend V.'s in die etwas grösseren Verhältnisse der Residenz. Unter seinen Lehrern zählte er hier den eigenen Vater, einen trefflichen, vielseitig gebildeten, auch auf litterarischem Gebiete hervorragend thätigen, Schulmann; für die Bestimmung des späteren Lebensberufes mag es von Bedeutung gewesen sein, dass der Lyceist in der letzten Schulzeit bei Vorlesungen am Polytechnikum hospitierte. Herbst 36 bezog V. die Universität Heidelberg, um Medicin zu studieren. Tiedemann, den Chemiker Leopold Gmelin, Th. Bischoff zählte er hier unter seine Lehrer; »über den studentischen Zerstreuungen« — er war Mitglied des Corps Suevia geworden — »vernachlässigte ich niemals die wissenschaftlichen Pflichten«, lauten seine eigenen Worte über jene erste Studienzeit. Vom Herbst 1838 ab studierte er ein Jahr lang in Göttingen (C. J. M. Langenbeck, Wöhler), um dann nach Heidelberg zurückzukehren. Vor Allem zog ihn da der klinische Unterricht von F. C. Nägele und von Chelius an; an Letzterem rühmte V. besonders den feinen und würdigen Ton, den er beim Verkehr mit den Kranken anzuschlagen wusste. Herbst 39—40 folgte ein Aufenthalt in Berlin; Schönleins Klinik und Johannes Müllers Vorlesungen über Physiologie und vergleichende Anatomie übten eine besondere Anziehungskraft auf ihn aus; ein »vorzügliches« Staatsexamen im Dec. 40, das er (gegen die damalige Gewohnheit) in allen 3 Fächern der Heilkunde in einem Turnus bestand, bewiesen die erfolgreiche Ausnützung der Studienjahre. Winter 40—41 brachte er, Schönleins wegen, wieder in Berlin zu und mit einem vierteljährigen Aufenthalt in Wien, wo damals Rokitansky und Skoda die junge ärztliche Welt in Begeisterung versetzte, schloss er die medicinischen Lehrjahre. Mai 41 bestand V. in Heidelberg das Doctorexamen mit der ersten Note. »Wir sind mit Ihnen vollständig zufrieden«, äusserte Nägele zu dem Candidaten. — Dem Wunsch der Eltern entsprechend liess sich V. in Karlsruhe als praktischer Arzt nieder. Doch ist anzunehmen, dass er sich schon da-

mals mit anderen Plänen trug, wenigstens wissenschaftliche, vor Allem physiologische, Studien, soweit es ihm die freie Zeit erlaubte, zu betreiben entschlossen war. Ins Jahr 42 fällt die erste litterarische Arbeit: Beiträge zur Pathologie und Therapie des Strabismus, veröffentlicht in den (Heidelberger) medicinischen Annalen. December 43 wurde V. Oberchirurg im Grossherzogl. Leib-Infanterie-Regiment. Bei einer Hoftafel sagte Grossherzog Leopold, im Beisein V.'s: »Meine Herren, wir »können uns Glück wünschen zu dieser Acquisition beim Militär.« Die Stellung als Militärarzt — Ende December war V. zum Oberarzt avanciert — erlaubte wissenschaftliche Arbeit. Einem Aufsatz »über die Abhängigkeit des Kohlensäuregehaltes der ausgeatmeten Luft von der Häufigkeit der Atembewegungen« (Archiv für physiolog. Heilkunde, 1844) folgte 1845 die Monographie: Physiologie des Atmens, mit besonderer Rücksicht auf die Ausscheidung der Kohlensäure. Es sind 40 Jahre verflossen, seitdem diese mit den einfachsten Mitteln, ohne »Laboratorium«, im Privathause angestellten Versuche publiciert sind. Die Grundzüge des Resultats sind auch heute noch unantastbar, in einzelnen Specialfragen ist, trotz der vorgeschritteneren Technik, Neues und Wesentliches nicht hinzugekommen. Die Detaillierung der Ergebnisse gehört aber nicht in den Rahmen dieser biographischen Skizze. Ein Aufsatz »Beiträge zur patholog. Anatomie der typhösen Fieber« (Zeitschrift für rationelle Medicin, Bd. III) fällt in dasselbe Jahr. Die Bearbeitung des Artikels »Respiration« in R. Wagners Handwörterbuch der Physiologie (1846) war für den jungen Gelehrten die officielle Einführung in die wissenschaftliche Welt. 1847 gründete V. einen eigenen Hausstand durch Verheiratung mit Pauline Seubert, Tochter des Geheimerats Dr. med. Karl Seubert in Karlsruhe. Sechs Kinder, wovon drei ihn überleben, sind aus dieser Ehe entsprossen. Die nächste Zeit brachte Journalaufsätze und Kritiken im Archiv für physiologische Heilkunde, deren specielle Aufzählung hier nicht durchgeführt werden kann. Ich verweise deshalb auf das summarische Verzeichnis am Schluss der Biographie. Auch als die badische Revolution den Militärarzt ins Feld rief, ruhte die Feder nicht. Ein Aufsatz »über den gegenwärtigen Standpunkt und die Aufgabe der Physiologie«, in Alt-Breisach geschrieben, sowie der (in Offenburg verfasste) Artikel »Transsudation und Endosmose« in Wagners Handwörterbuch (Bd. III, Abt. I), stammen aus jener Zeit. Aus dem erstgenannten Aufsatz, der V.'s Stellung genugsam kennzeichnet, kann ich mir nicht versagen, Einiges herauszuheben: »Man hat die Möglichkeit der exakten Physiologie vorschnell bezweifelt »und das Verlangen nach einer mathematischen Begründung ihrer Lehren »für eine Chimäre erklärt. Man hat an die bei den Erscheinungen der »unorganischen Natur in viel geringerem Grade, als bei den vitalen »Processen vorkommende Complication der Phänomene erinnert, die »das Messen derselben nicht möglich machen sollen. Unsere Antwort

»wird nicht schwer sein. Mit Unrecht fordert man, dass die exakte »Methode sogleich in allen, selbst in den schwierigsten, Fragen der »Physiologie sich bewähren soll; untersucht, antworten wir, die einfachen »und zugänglichen Erscheinungen, deren Beantwortung im Sinne der »quantitativen Methode uns jetzt möglich ist. Dieses ist freilich nicht »im Geschmack unserer Philosophen, die sich mit den schwierigsten »Problemen, die vielleicht niemals der Einsicht der Naturforschung offen »stehen, mit bekanntem Erfolge abgeben und dabei vergessen, dass es »nicht die Natur und die Grösse der Aufgabe ist, die den Forscher »allein ziert, sondern die Art, wie derselbe seine Aufgabe gelöst und »dabei gezeigt hat, dass er sich über das Mass seiner Kräfte keinen »Täuschungen hingiebt. Diese Beschränkung der Gegenstände unserer »Forschung erhält auch nicht den Beifall aller Naturforscher, von denen »sich Manche lieber mit unbestimmten, als mit präcis gestellten, Auf»gaben abgeben, in denen das leidige Talent der Spekulation und Hypo»thesenmacherei an die Stelle der mühsamen exakten Forschung tritt.«

So freisinnig V. dachte, so sehnlich er eine Aenderung der politischen Zustände in Deutschland herbeiwünschte, die badische Revolution in ihrer ziel- und zwecklosen Kopflosigkeit hatte ihn stets angewidert, die »provisorische Regierung«, welcher gar Mancher huldigte, nur um in Amt und Würden zu bleiben oder um vorwärts zu kommen, hatte er nie anzuerkennen vermocht. Wie freudig mag er es begrüsst haben, als ihm im Juli 49 die »seit Jahren fest und zuversichtlich gehoffte Stellung eines akademischen Lehrers« zu teil wurde. Es war wohl in erster Linie seine rege Mitarbeiterschaft am Archiv für physiologische Heilkunde, der er die Berufung nach Tübingen als Extraordinarius für theoretische Medicin verdankte; mit dem Jahre 50 übernahm er selbst die bisher von Griesinger geführte Redaktion der genannten Zeitschrift, die er bis Ende 56 beibehielt. V. las über allgemeine Pathologie und Therapie, Materia medica, Geschichte der Medicin, gab aber die Fächer, als er sich ausschliesslich der Physiologie widmen konnte, allmählich wieder ab, die Materia medica 1857. Nach Arnold's Abgang (1853), der Anatomie und Physiologie zugleich gelehrt hatte, wurden beide Disciplinen getrennt; V. erhielt einen Lehrauftrag für Physiologie, die er, neben den früheren Fächern, als Hauptcolleg las, als er Januar 55 zum ordentlichen Professor und Vorstand des physiologischen Institutes ernannt war.

1852 wurde die erstmalige exakte Zählung der Blutkörperchen vorgenommen; die Menge derselben vom Entdecker an sich selbst zu 5170000 im CMm bestimmt. Was in dieser, in ihrer ursprünglichen Form allerdings etwas umständlichen, Technik die spätere Zeit »verbessert« hat, hat zwar gewiss zur Vereinfachung und vor Allem zur klinischen Verwendbarkeit derselben geführt, die Exaktheit aber wohl kaum erhöht. Verschiedentliche andere Aufsätze im Archiv mögen hier

übergangen werden, nur ist zu erwähnen, dass auf der Naturforscherversammlung in Tübingen (Oktober 53) V. seinen Sphygmographen demonstrierte. 55 erschien die Monographie: Die Lehre vom Arterienpuls in gesunden und kranken Zuständen, welche V. zum Begründer der weiterhin fein ausgebildeten, von Einzelnen fast über Gebühr gepflegten Sphygmographie, der Darstellung des Pulses am unverletzten Arterienrohr, machte. In mehreren, zum Teil wesentlichen Punkten, vor Allem in der Darstellung der normalen Pulscurve, ist V. von seinen Nachfolgern abgewichen, mit der normalen Katakrotie oder gar Katapolykrotie mochte er sich auch späterhin nie recht befreunden; viele von den, freilich oft gar gekünstelten, Pulsbildern hielt er zeitlebens für Artefakte. Der Sphygmograph ist aber in seiner vereinfachten und handlicheren, vielleicht auch nicht über alle Kritik erhabenen, Form ein wichtiges Instrument für die Krankenuntersuchung geworden. »Welche umfassende und schöne Aufgabe der sorgfältigen klinischen Beobachtung des Pulses noch vorbehalten bleibt, das wird hoffentlich aus dieser Schrift selbst am deutlichsten hervorgehen«, schreibt V. im Vorwort und ebenda, seinen Standpunkt scharf kennzeichnend: »Niemand wird den Einwurf machen, dass diese Methode, weil umständlich, eine »unpraktische« sei. Das Pulsfühlen, diese so einfache Operation, verdrängen zu wollen, kommt mir nicht entfernt in den Sinn, wenn ich auch den sehr leichten, heutzutage fast überflüssigen, Beweis führen werde, dass der tastende Finger, für eine irgend genauere Beurteilung des Pulses durchgängig unzureichend, zu den grössten Irrtümern verleiten kann, und, auf eigene Erfahrung gestützt, zugleich die feste Ueberzeugung habe, dass wir auch dann unsern Tastsinn nicht wesentlich schärfen werden, wenn wir mittelst des Sphygmographen die umfassendsten Erfahrungen über die verschiedenen Qualitäten des Pulses gesammelt haben werden.«

Der Lehre vom Arterienpuls folgte als nächste grössere Arbeit 1858 die Schrift: Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes nach Versuchen. Eine Reihe wichtiger Gesetzmässigkeiten in einem vorher etwas stiefmütterlich behandelten Kapitel der Physiologie sind in dieser Schrift ausgeführt, in erster Linie der schöne und wichtige Satz: »Die mittlere Kreislaufdauer einer Säugetier- oder Vogelart ist gleich der durchschnittlichen Zeit, in welcher das Herz 27 (26 bis 28) Schläge vollendet.« Die Beziehungen der strömenden Blutmengen zur Pulsfrequenz, zum arteriellen Blutdruck wurden zum gesetzmässigen Ausdruck gebracht, was freilich ohne unterstützende Calculation nicht wohl möglich war. Es haben deshalb auch einzelne Kritiker an den Resultaten mäkeln zu müssen geglaubt, ohne freilich Besseres und in so schwierigen und verwickelten Fragen sachlich Richtigeres an die Stelle setzen zu können. Die von V. aufgestellten Gesetzmässigkeiten sind doch wahrlich mehr, als blosse Spielerei mit Zahlen und eben der Umstand, dass sie sich bewähren bei Tieren der verschieden-

sten Statur, Pulsfrequenz, Körpermasse, sprechen zu Gunsten der präcisen Fassung, in welche die verwickelte Funktion der Blutcirculation hier zum ersten Male gebracht war.

1860—61 erschien in 3 Lieferungen der Grundriss der Physiologie des Menschen. Trotzdem, dass das Werk nicht zu den »glatt« zu lesenden gehört, hatte es sich doch grossen Beifalls zu erfreuen. In gedrängter Darstellung, mit vielleicht zu wenig äusserem Apparat, ist ein Gesamtbild der Physiologie gegeben unter eingehender Berücksichtigung auch solcher Funktionen, deren elementare Behandlung nicht eben leicht ist und deshalb gar oft den anderen gegenüber zurückgesetzt wird. V. wollte vor Allem eine Physiologie des Menschen schreiben, nicht eine blosse Zusammenstellung wichtiger physiologischer Thatsachen überhaupt geben. Das Studium des Menschenlebens im weitesten Umfange war ihm die erste und oberste Aufgabe, um derentwillen alles andere zu geschehen habe. »Damit bekenne ich, dass ich die Darstellung einer »physiologischen Funktion nicht abhängig mache von dem der Wissen»schaft als solcher ganz fremden und vielfach auch bloss der subjek»tiven Schätzung unterliegenden Dignitätsgrade, welche die Funktion »für den Organismus hat. Das Sprechen, die Stimme, das Gehen, das »Stehen (welch' letzteres neue Untersuchungen nötig machte), diese und »andere Funktionen, die als sog. »Fähigkeiten« nicht selten hinter an»deren Kapiteln bedeutend zurückstehen müssen, gehören nicht nur zu »den für das erste Studium schwierigeren Teilen der Physiologie, son»dern sie bieten auch eine gewisse relative Abrundung und Folgerichtig»keit ihrer Lehrsätze.« (Vorrede zur I. Auflage.) V. suchte den Menschen in allen seinen Lebensäusserungen zu verfolgen; in den Kapiteln des Lehrbuchs, die als Physiologie des Gesamtorganismus bezeichnet sind, werden die von Alter, Geschlecht, Constitution abhängigen Zustände des Körpers, die periodischen Körperzustände (tägliche, mehrtägige, jährliche Periode) abgehandelt; gerade hierin erblickte V. ein für Wissenschaft und Praxis höchst wichtiges Studium, und nichts lag ihm ferner, als sich mit den gewiss unentbehrlichen und stets zu Grunde zu legenden Durchschnittswerten für den mittleren Erwachsenen begnügen zu wollen. Die eingehende Behandlung, die V. in seinem Lehrbuch der Psychophysiologie zu teil werden lässt, zeigt, wie weit er (auch in rein medicinischem Interesse) das Gebiet der Physiologie ausgedehnt wissen wollte. Von 1860—77 hat das Lehrbuch 5 Auflagen erlebt, die 2te schon 1 Jahr nach dem ersten Erscheinen. Die 3te Auflage wurde ins Italienische übersetzt; andere Uebersetzungen (ins Holländische, zum Teil ins Polnische) sollen veranstaltet worden sein, ohne dass dem Autor Genaueres darüber notificiert wurde.

1864—65 bekleidete V. das Rektoramt der Universität. Gelegentlich der Trauerfeier für den verstorbenen König Wilhelm hielt er (Juli 64) die Gedächtnisrede in der Aula, am Schlusse des Amtsjahres eine

Rektoratsrede über die »Einheit der Wissenschaften«. Es sei Einiges aus derselben herausgehoben:

»Die Wissenschaften können neben einander nicht teilnahmlos bestehen, sie üben notwendig tiefgreifende Wechselwirkungen auf einander. »Freilich wollen Manche die Möglichkeit gegenseitiger Verständigung »gerade unserer Zeit absprechen, wo jedes Fach seine besonderen Wege »geht, dieser Zeit des Specialisierens, der, wie man sie treffend zu »bezeichnen wähnte, chinesischen Zustände der Wissenschaft! Aber gerade das, was die Tadler »Zersplitterung« nennen, giebt die sicherste »Bürgschaft einer gesunden, einer reellen Einheit der Wissenschaften. — »Jede Disciplin muss die ihr gestellten Aufgaben auf ihren Wegen verfolgen, unabhängig von fremden Voraussetzungen, unbekümmert um »die Anschauungen sogar der verwandtesten Fächer. Haben wir nicht »warnende Beispiele genug, dass selbst der an sich richtigste Satz, den »wir vom verwandten Fach als Prämisse für unsere Forschung benützen, »auf falsche Wege führen kann? Es giebt nichts Verwandteres, als Anatomie und Physiologie; deshalb geht die anatomische Forschung gern »von physiologischen Vordersätzen aus, d. h. sie sucht für gekannte »oder halbwegs bekannte Thätigkeiten specifische Einrichtungen auf, »während umgekehrt der Physiologe aus Eigentümlichkeiten der Form »deren Gebrauch, deren Funktionen ableitet. Und doch führt dies häufiger zum Irrtum, als zur Wahrheit!

»Um sich gegenseitig unterstützen zu können, müssen die Wissenschaften im Besitz zahlreicher gesicherter Thatsachen sein; in diesen »Besitz gelangen sie nur durch mühselige Einzelforschungen. Die Thatsachen sind es, die für alle Zeiten, in allen Wandlungen der Wissenschaft feststehen, sie sind das beste Heilmittel für den Subjektivismus, »der zu Allem Anlage hat, ausser zur unbefangenen Auffassung der »Dinge und zum offenen Verständnis anderer berechtigter Standpunkte. »Je reicher eine Wissenschaft ist an Thatsachen, je mehr Wert sie legt »auf Thatsachen, desto wahrer ist sie, desto reicher an sicheren allgemeinen Resultaten, desto fruchtbarer ihre Beziehungen nach aussen.«

»Die induktiven Wissenschaften verlangen von der exaktesten Theorie »nicht mehr, aber auch nicht weniger, als dass sie sämtliche bekannte »Thatsachen unter gewissen einfachen Voraussetzungen begreiflich mache; »sie schreiben ihren Theorieen bloss Brauchbarkeit, im günstigsten Fall »vollständige empirische Sicherheit, nun und nimmermehr aber absolute »Wahrheit zu.«

»Um das Wissen sind doppelte Schranken gezogen, bewegliche und »und unbewegliche. Jene beengen immer nur eine bestimmte Periode »der Wissenschaft, diese mahnen an die absoluten Grenzen, die dem »Erkennen und Begreifen gesetzt sind. — Angesichts der Grenzen unseres Wissens über die Kräfte der Natur fühlt es Niemand besser, als »eben der Naturforscher, dass es ein weites Gebiet giebt, welches er

»als solcher niemals betreten kann und welches er sich selbst verschliesst. »Das eben ist das wahre Kennzeichen der exakten Wissenschaft, dass »sie ihre Grenzen scharf absteckt und niemals weiter geht, als sie gehen »kann. Haben doch die edelsten Forscher als Greise eingestanden, »dass sie erst in den Propyläen dieses Heiligtums stehen. Da aber, wo »der Naturforscher Gewissheit hat, steht er um so entschiedener da, »er kennt keine Wunder, eines ausgenommen, das ihm überall entgegen- »tritt, die Gesetzmässigkeit, welche keine Ausnahmen duldet in der er- »habenen Erscheinungswelt, welche eine unbegreifliche Macht geschaf- »fen hat.«

»Gleichweit entfernt von einem trübsinnigen, beschränkten Pietis- »mus, wie von aufklärerischer Verflachung, liegt die wahre Pietät, sie »lässt dem Verstande seine vollen Rechte, sichert sie aber auch dem »Vermögen, des Uebersinnlichen und unserer ewigen Bestimmung in »froher Zuversicht auf die Vorsehung bewusst zu bleiben.«

Ich bin hier etwas ausführlicher gewesen, weil ich glaube, dass das Gesagte zur Kennzeichnung des Standpunktes, auf welchem V. stand, Wesentliches beiträgt.

In die 60er Jahre fallen die Bemühungen V.'s um einen Neubau für das früher in der Anatomie, in durchaus unzulänglichen Räumlichkeiten untergebrachte, physiologische Institut. Dank namentlich auch der fördernden Fürsorge des damaligen Cultusministers v. Golther, wurde die Angelegenheit so beschleunigt, dass im August 68 das neue Institut, dessen Bau übrigens durch den Krieg von 66 eine kurze Unterbrechung erfahren hatte, bezogen werden konnte, — die erste Anstalt in Deutschland, die ausschliesslich der physiologischen Disciplin bestimmt war.

Im August 68 erschien die Monographie: Der Zeitsinn nach Versuchen. Es sind in derselben die mannigfaltigen Leistungen des Zeitsinnes verfolgt, wie sie in den wichtigsten Sinnesgebieten, in der Ausführung von willkürlichen Bewegungen und endlich in der blossen Vorstellung von Zeitgrössen sich kundgeben; der constante Fehler in den Zeitempfindungen, in der Wahrnehmung der Geschwindigkeiten, der zeitliche Verlauf der Willensbewegung, die Unterscheidungsempfindlichkeit für Zeitgrössen, die »unveränderte« Reception der Zeit von 1 1/2 bis 1 2/3 Sekunden, wogegen wir kleinere Zeiten grösser, grössere kleiner präcisieren, als sie wirklich sind, und viele andere für unser Sinnes-, ja gesamtes geistiges Leben hochbedeutsame Fragen auf diesem Gebiete werden erörtert; überhaupt pflegte V. mit einer gewissen Vorliebe psychophysische Studien; der langjährige briefliche Verkehr mit Fechner mag hier manche Anregung gegeben und das Interesse an diesen Materien lebendig erhalten haben.

1869 begann V. seine Untersuchungen über die Entwicklung des

Raumsinnes der Haut, die späterhin von einer Anzahl von Schülern [1]) in eingehenderen Versuchsreihen erweitert und ergänzt wurden. Nach V.'s Hypothese sind die Feinheitswerte des Raumsinnes sämtlicher Hautstellen eines Körperteils jeweils die Summen zweier Grössen: einer constanten und einer variabeln. Der (allen Einzelstellen gemeinsame) Wert tritt rein hervor in dem Empfindlichkeitsmass der Haut unmittelbar an der Gelenkachse, die variabelen Werte (Feinheitszuwüchse) verhalten sich einfach proportional den Abständen der Hautstellen von dem Gelenk, also auch den Bewegungsgrössen der um ihre gemeinsame Achse rotierenden Hautstellen. Die ungemein grosse Verschiedenheit der Entwicklung des Raumsinnes der Haut vermag die V.'sche Hypothese recht befriedigend zu erklären, wenn sie auch für einzelne Positionen nicht mehr ganz ausreichen dürfte.

Einen Teil der 70er Jahre füllten fortgesetzte, in ihren Anfängen bis ins Jahr 68 zurückreichende, Untersuchungen über Spektrophotometrie. Drei Monographien sind diesem Gegenstand gewidmet: 1871 die Anwendung des Spektralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes — 1873 die Anwendung des Spektralapparates zur Photometrie der Absorptionsspektren und zur quantitativen chemischen Analyse — 1876 die quantitative Spektralanalyse in ihrer Anwendung auf Physiologie, Chemie und Technologie. V. bestimmte mit eigentümlichem Verfahren die bisher bloss von Fraunhofer mit einer nicht allgemein anwendbaren, subjektiven Methode gemessene Lichtstärke des Sonnenspektrums genauer und dehnte durch entsprechende Aenderungen am Spektralapparat, den »Doppelspalt«, die Photometrie der Absorptionsspektren zu der eleganten Technik der quantitativen Spektralanalyse aus, d. h. der genauen und schnellen Bestimmung des Gehaltes farbiger Lösungen an gefärbter, resp. färbender Substanz. Es haben Einige von der Methode behauptet, sie sei umständlich; wer sie kennt und übt, wird nicht derselben Meinung sein. Ich weiss aus eigener und anderweitiger Erfahrung, dass sie mühelos in relativ kurzer Zeit zu erlernen ist. Eine genaue Hämoglobinbestimmung nach dieser Methode nimmt sicherlich weniger Zeit in Anspruch, als eine exakte Blutkörperchenzählung, selbst wenn die einfacheren, auf schnelleres Arbeiten eo ipso hinzielenden Verfahren in Anwendung kommen.

Es sei hier des 25jährigen Docenten-Jubiläums gedacht, das V. im Juli 74 in Gemeinschaft mit dem Anatomen Luschka feierte, ein Fest, das sich bei der allgemeinen Beteiligung der weitesten Kreise zu einer

---

1) Die Arbeiten auch der Schüler V.'s anzuführen und zu besprechen, muss ich mir versagen, um vorliegender Skizze keine allzu grosse Ausdehnung zu geben. Es würde sich um 60 im Tübinger Institut gearbeitete, z. grössern Teil in Zeitschriften publicierte, grössere und kleinere Arbeiten handeln.

schönen akademischen Feier gestaltete. Besonders erhebend war der Moment, wo er zu gewöhnlicher Vorlesungsstunde im Auditorium von seinen Hörern begrüsst wurde. In längerer Rede entwickelte er den Gang seines wissenschaftlichen Lebens, die Resultate seiner Forschungen, dabei von den Dingen als solchen, möglichst wenig von sich selbst redend, dankbar aller derer gedenkend, die ihn gefördert, auch der jungen Männer, welche unter seiner Leitung experimentelle Studien machten. Das vom Schüler gefundene Resultat freue ihn mehr, als wenn er selbst zu demselben gelangt wäre. Er schloss mit Ratschlägen für das Studium des jungen Mediciners, mit der wohlgemeinten Aufforderung: »Machen Sie es sich zur Regel, dass Sie sich möglichst selten sagen müssen: Diem perdidi!« Die naturwissenschaftliche Fakultät ernannte ihn bei dieser Gelegenheit zum Ehrendoctor.

1877, in demselben Jahr, in welchem die 5te umgearbeitete Auflage der Physiologie ediert wurde, erschien in Gerhardt's grossem Handbuch der Kinderkrankheiten V.'s Physiologie des Kindesalters, der erste Versuch einer Darstellung der Physiologie des gesamten Kindesalters. Dass es nicht bloss beim Versuch geblieben ist, zeigt die Fülle des in ununterbrochener $^3/_4$jähriger Arbeit zusammengetragenen Materiales, die erschöpfende, dabei mit Consequenz auf die speciell gestellte Aufgabe sich beschränkende und nicht ohne Not in weitere Gebiete der allgemeinen Physiologie sich verbreitende Behandlung aller Funktionen, die Ausscheidung des Unbrauchbaren, so dass, trotz aller selbstverständlichen Lücken in der noch verhältnismässig jungen Disciplin, ein stattliches Gesamtbild, gleich wertvoll für den Physiologen wie den Arzt, geschaffen wurde. 1881 schon war eine 2te Auflage des betreffenden Bandes des Handbuches nötig.

Ende der 70er Jahre begann V. seine allerdings mit Unterbrechungen bis fast ans Lebensende fortgesetzten Untersuchungen über die Messung der Schallstärke und über Schalleitung der Körper. Wenn Andere oft mit zunehmendem Alter ihre Arbeit sich erleichtern, auch wohl gerne wieder auf Früheres, von Neuem prüfend und sichtend, zurückgreifen, so war es für V. charakteristisch, dass er relativ spät eine Arbeit begann, über deren Umfang und Bedeutung er sich recht wohl Rechenschaft zu geben wusste. Seine bis zum Tode intakt gebliebene Schärfe der Sinne (höchstens das eine Auge hatte durch die fortdauernden spektralanalytischen Untersuchungen etwas eingebüsst) erlaubte es ihm immer noch in schwierigere Unternehmungen einzutreten und die ruhige, stete Consequenz, mit welcher er auch die verwickelteren und anstrengenderen Teile einer Aufgabe Schritt für Schritt zu lösen verstand, bekundete, dass noch jugendliche Arbeitskraft in dem Körper wohnte. Er begnügte sich nicht damit, einfach hinzunehmen, was die, vielleicht noch so begründete und unter bester Flagge segelnde Theorie annahm. Die Theorie hatte bisher vorausgesetzt, dass bei einer durch Fallge-

wichte erschütterten schwingenden Platte das Mass der Schallstärke ausgedrückt sei durch das einfache Produkt des Gewichtes in die Fallhöhe. V. wies nach, dass eher das Produkt aus Gewicht und Wurzel aus der Fallhöhe, resp. aus Gewicht und der 0,6ten Potenz (in runder Zahl) der Fallhöhe als Schallstärkemass zu betrachten sei. Für die Schallstärken bei der Leitung durch die Luft stellte er, entgegen den bisher gültigen Annahmen, fest, dass sie mit den einfachen Abständen von der Schallquelle abnehmen. Diese und andere, principiell wichtige und dennoch bislang auffallender Weise experimentell nicht genügend geprüfte Fragen sind in dem (vorliegenden) Werke über Ton- und Schallstärke behandelt; der Frage über das Schalleitungsvermögen der Körper ist die weiteste, auch in das praktisch-medicinische Gebiet hinüberstreifende Ausdehnung gegeben. All' diese Untersuchungen, so abgeschlossen sie, bei der Massenhaftigkeit des Stoffes, in gewisser Beziehung sind, haben vielleicht die Abrundung nicht erfahren, die der Verfasser geplant hatte. Schmerzliche Erkrankung und der Tod haben ihn von der definitiven Vollendung dieser und wohl noch gar manch' anderer, in Aussicht genommener Arbeit abgerufen.

V., der stets wegen seines frischen, von den fortschreitenden Jahren kaum berührten Aussehens, seines dunkeln, kaum ergrauenden Haares, seines elastischen Ganges auffiel, auch wohl manchmal deshalb beneidet werden mochte, begann schon einige Zeit vor der eigentlich ernsteren Erkrankung an Beschwerden von Seiten des Herzens mit zeitweiligen sehr quälenden »asthmatischen« Anfällen zu leiden. Nach einem relativ schlechten Sommer im Jahr 83 erholte er sich, trotz einer immer deutlicher sich entwickelnden Herzhypertrophie, bei einem längeren Aufenthalt in Cannstatt, auch der nun folgende Winter verlief leidlich; das Sommersemester 84 wurde noch guten Mutes angetreten, V. las vor dem grössten Auditorium, das er in 35 Docentenjahren gehabt. Am 24. Mai war seine letzte Collegstunde. In den Pfingstferien setzte unvermutet schwere, fieberhafte Erkrankung (Endocarditis?) mit geringer Pleuritis, hochgradiger Albuminurie ein. Die ernste Krisis wurde zwar zunächst noch überstanden; auch gelang es fernerhin mehrere Male, der sich bildenden Oedeme mittelst Digitalis Herr zu werden; ohne dass freilich die peinigenden dyspnoischen Zustände ganz ausgeblieben wären. Mit männlicher Entsagung betrieb V., der seine Kraft gebrochen fühlte, seine Pensionierung; es war seine erste Handlung, als er nach den schweren Krankheitstagen wieder zu klarem Bewusstsein kam. Die rasche Wiederbesetzung seiner Lehrstelle lag ihm besonders am Herzen. Unter dem 7. Juli wurde ihm der Ruhestand unter gleichzeitiger Anerkennung seiner »treuen und vorzüglichen Dienste« und Verleihung des Komthurkreuzes des Friedrichsordens bewilligt. Der akademische Senat überreichte ihm eine Dankadresse. Erfreuen sollte er sich nicht mehr der Ruhe; allmählich, unter zeitweiligem stürmischen Aufflackern der alten Kraft und

Energie, erloschen die Lebensgeister; Albuminurie, übrigens geringen Grades, und mässige Oedeme bestanden fort. Als er im Nov. seine Dienstwohnung im physiologischen Institut, an dessen Erbauung er so wesentlichen Anteil hatte, verliess, that er es mit der Ruhe und Würde eines antiken Philosophen; kein Wort der Klage, der Bitterkeit, nur das Bewusstsein, dass er dieses Haus nie mehr sehen werde! Vierzehn Tage danach lag er im Sarge. Er starb sanften Todes [1]) nach schweren Leiden in der Mittagstunde des 22. Novembers, an demselben Tage, an dem ihm eine Deputation dankbarer Schüler eine Adresse überreichen wollte; er lag im Sterben, als sie übergeben wurde. Am Mittag des 24. Nov. wurde V. unter ungewöhnlicher und allgemeiner Beteiligung beerdigt; einer seiner Collegen rühmte ihm am Grabe nach, dass er einer der Mitbegründer der modernen Physiologie gewesen sei.

»Uns jedoch, Ihren Schülern, soll Ihr Suchen nach Wahrheit ein leuchtendes Vorbild für unsere medicinische Laufbahn sein«, lautet der Schluss der erwähnten studentischen Adresse. Und wirklich gerade in seinem eigentlichen Lehrberuf war er vor Allem bemüht, das Wahre und Beste seinen Schülern zu geben. Er war sich stets bewusst, dass die übergrosse Mehrzahl der Hörer dem praktisch-ärztlichen Beruf sich widmen würde; deshalb wurden auch praktisch wichtige Kapitel besonders ausführlich behandelt, damit aber nicht etwa eine bloss für praktische Bedürfnisse zugestutzte Physiologie gelehrt, sondern auch dem Praktiker ferner liegende Kapitel, namentlich allgemeine Sinnesphysiologie und das weite Gebiet der Psychophysiologie, ausserdem aber auch sonst nicht gerade grossen Studiums sich erfreuende Funktionen, wie Gehen und Stehen, Schmecken etc. eingehend besprochen. Frei und gewandt, beim schwierigen Stoff besonders klar und anregend, oft wirklich packend und fortreissend, war sein Vortrag; vom Zuhörer wünschte er aus pädagogischem Interesse, dass er das gesprochene Wort unmittelbar zu erfassen suchte; das schriftliche Fixieren bekannter, allüberall leicht zu findender, Thatsachen war ihm unbegreiflich. Nie unterliess er es, auf kleine, wohl abgerundete Aufgaben hinzuweisen, die auch der Ungeübte zu lösen sich getrauen sollte. Dass er auch Kapitel, wie Gehen und Stehen, den Zeitsinn in populären Vorträgen zu behandeln verstand, lässt V.'s rednerische Gabe nicht verkennen; wenn er bei richtiger Stimmung war, gelang ihm trefflich der ernste, wie witzige Toast, in früheren Jahren, wo V. die Geselligkeit eifrig pflegte, auch wohl manch' humoristisches Gedicht. Von dem, der bei ihm arbeiten wollte,

---

1) Die Sektion ergab in der Hauptsache neben allgemeiner mässiger Hydropsie: alte, nur geringe neue, Veränderungen an den, allem Anschein nach sufficienten Aortenklappen, Hypertrophie und Dilatation des Herzens, bes. starke Hypertrophie links; Arterio-Sklerose; chronisch-indurative Nephritis (mit ausgesprochener Endarteriitis der interlobulären Arterien).

verlangte er vor Allem Interesse an der Arbeit und Fleiss; wer eine Arbeit begann und sie aus nichtigen Gründen liegen liess, war nicht gut angeschrieben.

In der Beurteilung junger Schüler hatte er einen scharfen Blick; manchem hat er ein richtiges Horoskop gestellt zu einer Zeit, wo über ihn andere Ansichten, günstige oder ungünstige, verbreitet waren. — Die Jugend zu fördern, war bei ihm selbstverständlich; an Erfolgen irgend welcher Art, die einen Schüler betrafen, hatte er seine aufrichtigste Freude. Nicht einen bloss hat er, gegen dessen Willen, in das gefürchtete Examen zu gehen vermocht, wohl wissend, dass er auch im Fall des Gelingens nicht immer Dank dabei ernten würde.

Ein reiches und ausgebreitetes Wissen zierte V., aber nie bot es ihm Anlass zu gelehrter Grossthuerei, nie zu prunkhafter Selbstüberhebung. Zu jener da und dort gehegten Exclusivität, die höchstenfalls den Vorteil haben kann, dass sie eine absolute Concentrierung der Arbeitskraft auf bestimmte Punkte erlaubt, hat sich V. nie durchgearbeitet; neben seinem Specialberuf hatte er nicht nur für verwandte medicinische und naturwissenschaftliche Fächer, sondern auch für ferner liegende Gebiete (Geschichte, Geographie) das regste Interesse übrig. Nur in Mathematicis war er, seiner Veranlagung nach, weniger zu Hause, wusste aber wohl und hat es selbst bewiesen, dass eine Behandlung der allermeisten physiologischen Probleme auch ohne höhere Mathematik geschehen kann. Dass man ihm Manches zutraute, bewies die interimistische Verwaltung der medicinischen Klinik, die er nach Griesingers Abgang (1860) ein Semester lang gegen seinen Willen übernehmen musste. Er erzählte scherzend, dass er mit einer (zudem verzeihlichen) durch die Sektion aufgedeckten Fehldiagnose durchgekommen sei.

Im gewöhnlichen Leben trat der Mediciner als solcher durchaus nicht in den Vordergrund und gerade unter Nicht-Medicinern zählte er seine besten Freunde. Wahre Kunst und Poesie, wahre Grösse verehrte er wie Wenige. Wenn er von grossen Dingen, von gewaltigen Männern sprach, da erglänzte begeistert sein ausdrucksvolles lebhaftes Auge, da kam auch wohl die weiche, echt menschliche Seite seines Gemütes zum Durchbruch, die er sonst nicht leicht, als wohlfeile Ware, an die Oberfläche treten liess. Der Thräne der Rührung schämte sich der sonst so zielbewusst und energisch handelnde Mann nicht. Wer mit V. nur oberflächlich in Berührung kam, mochte durch sein scharfes Urteil, durch seine Offenheit, mit der er, momentan unbekümmert darum, ob und wie es wirke, das sagte, was er im einzelnen Fall für richtig hielt, ab und zu etwas abgestossen werden. Wer ihn näher kannte, wusste den Reichtum seines Wissens, die Tiefe seines Gemütes, die ideale Seite seiner im Grunde liebenswürdigen Natur zu schätzen. Oft sprach er sich missbilligend über das »Amerikanertum« der modernen Jugend aus, die ohne Idealität dahinlebe; am jungen Manne wollte er idealen

Zug, den natürlich frischen, kräftigen Hauch des vorwärts Strebenden. Blasiertheit und Strebertum dagegen war ihm in gleicher Weise ein Greuel. Von Eitelkeit war V. entfernt in einer Weise, dass er Alles geflissentlich vermied, was den Schein erwecken mochte, es sei um des Beifalls willen geschehen. Eitle Menschen, solche, »welche um einen Orden ihre Seligkeit und ihr Vaterland verraten würden«, stiessen ihn ab, er begriff sie nicht, er bedauerte sie. Nach Ehren hat er nie gestrebt, sie nie gesucht. Er betrachtete sie als etwas Sekundäres, Zufälliges, das, oft nach Laune des Glücks, dem Einen spärlich, dem Anderen reichlich zufalle. Sie für etwas Wesentliches zu halten, war ihm nicht möglich, er gönnte sie aber von Herzen denen, die darauf in empfindlicher Weise zu reagieren vermochten.

Es muss noch eines Punktes erwähnt werden, der bei einer auch skizzenhaften Biographie des Entschlafenen nicht vergessen werden darf, der deutsche Patriotismus V.'s. Er war nicht neuen Datums, wie so mancher, der der Macht der Thatsachen sein Entstehen verdankt, er war mit ihm gross gezogen und nie verleugnet worden, auch zu einer Zeit, wo es (in Tübingen), ich will nicht sagen, gefährlich, doch zum Mindesten nicht opportun war, sich offen zum national-deutschen Gedanken zu bekennen. Ueberzeugt, dass nur von einer Seite das Heil für Deutschland kommen könne, hat er mit der Lebhaftigkeit seiner Natur an dem Gedanken festgehalten; das Jahr 70—71 war für ihn eine herrlich erhebende Zeit, der Enthusiasmus der Jugend lebte in ihm. Und den denkwürdigen Feldzug, an dem er aktiv nicht Anteil nehmen konnte, hat er wenigstens mit grossem Eifer und einer nur vom Gelehrten aufzuwendenden Gründlichkeit Schritt für Schritt studiert und förmlich durchgearbeitet. Mancher Stabsoffizier hätte in um seine Kenntnisse in dieser Materie beneiden dürfen!

Ich darf die Skizze hier schliessen, damit sie den von uns gesteckten Rahmen nicht überschreite. Ohnedies wäre das Leben eines Mannes, dem Präcision und Kürze oberstes Princip war, nicht passend geschildert mit einem weitschweifigen Nekrolog. Pflegte V. doch selbst ein, wie ich glaube, von Joh. Müller herrührendes Wort zu citieren: Von einem Gelehrten interessiert nichts, als der Tag seiner Geburt, der seines Todes, das Resultat seiner Forschung. So darf auch aus dem arbeitsamen und reichen Leben, das hier abgeschlossen vor uns liegt, mancher charakteristische Zug, manches, Standpunkt und Stellung kennzeichnende Wort, manche Handlung, welche den energischen, geradeaus gehenden, das Rechte und Beste wollenden, Mann verrät, verschwiegen bleiben.

Der Physiologie gegenüber hat er, in richtiger Erkenntnis der Ziele und Aufgaben dieser Wissenschaft, stets die Forderung festgehalten: »Die Naturwissenschaften können nur dann zu dem wünschenswerten »Grade von Sicherheit und Gewissheit gelangen, wenn sie sich zur Auf»gabe setzen, bei der Untersuchung der gegenseitigen Beziehungen zwi-

»schen Ursache und Wirkung die quantitativen Verhältnisse möglichst »zu berücksichtigen. Es genügt nicht, Experimente und Be»obachtungen anzustellen; wir müssen zu allen unse»ren Untersuchungen den Sinn für quantitative Auf»fassung mitbringen. Einzig und allein durch Befolgung dieses »Grundsatzes scheiden sich — und zwar durch eine weite Kluft — die»jenigen Naturwissenschaften, die mit dem Ehrentitel der »exakten« ge»schmückt sind, von den übrigen, unter welchen sich namentlich auch »die befinden, deren Gegenstand die organische Natur ist.« (Vorrede zur Physiologie des Atmens (1845) pag. VIII.)

»Man erlangt die Ueberzeugung, dass auch die organische Natur in »allen ihren Aeusserungen sich innerhalb viel weiterer Grenzen bewegt, »als man gewöhnlich annimmt, und dass die Erscheinungen im »Organismus ebenso messbar sind, als diejenigen in »der unorganischen Natur.« (Ibid. pag. XI.)

Und wenn auch die Physiologie in der Erfüllung ihrer Hauptaufgabe, der Erforschung der Lebensvorgänge an und für sich, oft genug ihre besonderen, von den mehr »praktischen« Bedürfnissen mehr oder weniger abweichenden, Wege gehen muss und soll, so erschien es V. andererseits gewiss als selbstverständlich, wenn er in der Einleitung zur »Physiologie des Kindesalters« schreibt: »Die neuere Physiologie — in rich»tiger Würdigung ihres Zusammenhanges mit der Medicin — ist mehr, »als das früher der Fall war, bemüht gewesen, die besondere Gestaltung »zu ermitteln, welche die Funktionen im menschlichen Organismus »annehmen.« Neben ihren, zunächst wenigstens, rein wissenschaftlichen Zwecken und Fragen sollte die experimentelle Physiologie nie ihr höheres Endziel ausser Acht lassen, die specielle Erforschung des höchst entwickelten Organismus; wenn einer, so war V. von der Ueberzeugung getragen, dass es eine höchste Blüte aller Physiologie gebe, eine specialisierte Physiologie des Menschen. Wo die Physiologie eine Wissenschaft des Laboratoriums bleibt, hat sie ihrer höheren Aufgabe nicht genügt und nur da wird sie wirklich fruchtbar, wo die Kenntnis auch scheinbar unbedeutender Vorgänge sich so vertieft, dass nicht nur gesundes, sondern auch krankes Leben, welches ja von jenem principiell nicht zu trennen ist, zum anschaulich plastischen Gesamtbild sich gestaltet.

Schriften und Aufsätze [1]).

1842.

1) Beiträge zur Pathologie und Therapie des Strabismus. (Heidelberger medicinische Annalen, Bd. VIII. Heft 1.)

1844.

2) Ueber die Abhängigkeit des Kohlensäuregehaltes der ausgeatmeten Luft von der Häufigkeit der Atembewegungen. (Archiv f. physiologische Heilkunde, Jahrg. III.)

1845.

*3) Physiologie des Atmens mit besonderer Rücksicht auf die Ausscheidung der Kohlensäure. Carlsruhe, Groos.

4) Beiträge zur pathologischen Anatomie der typhösen Fieber. (Zeitschrift f. rationelle Medicin, III. Jahrgang.)

1846.

5) Artikel »Respiration« in R. Wagners Handwörterbuch der Physiologie, Bd. II.

6) Bericht über die bisherigen die Endosmose betreffenden Untersuchungen. (Archiv f. phys. Heilkunde, Jahrgang V.)

[6a und 6b zwei Antikritiken gegen Dr. Löwenberg].

[6c Recension von Hannover: de quantitate relativa et absoluta acidi carbonici ab homine . . . exhalati].

1847.

7) Die Gesetze des Gasaustausches bei der Respiration. (Archiv f. phys. Heilkunde, Jahrgang VI.)

8) Recension: W. Grabau, der Schlag und die Töne des Herzens. (dto.)

9) Recension: Harless; Monographie über den Einfluss der Gase auf die Form der Blutkörperchen von Rana temporaria. (dto.)

10) Physik des organischen Stoffwechsels. Erster Artikel. (dto.)

11) Selbstkritik einiger Kritiken. (dto.)

1848.

12) Nachtrag zu der Abhandlung über den Gasaustausch beim Atmen. (Archiv f. phys. Heilkunde, Jahrgang VII.)

13) Ueber die Summe der Querschnitte der Haargefässe der grossen Blutbahn. (dto.)

14) Recension: Bibra und Harless, die Wirkungen des Schwefeläthers. (dto.)

15) Physik des organischen Stoffwechsels. Zweiter Artikel. (dto.)

16) Ueber die Menge des Chylus. (dto.)

1849.

17) Ueber den gegenwärtigen Standpunkt und die Aufgaben der Physiologie. (Archiv f. physiol. Heilkunde, Jahrgang VIII.)

---

1) Die mit * bezeichneten sind als selbständige Monographie im Buchhandel erschienen.

18) Artikel »Transsudation und Endosmose« in Wagners Handwörterbuch der Physiologie, Bd. III.

1850.

19) Vorwort zum Archiv f. physiologische Heilkunde. (Ebenda, Jahrgang IX.)
20) Recension: Hutchinson, von der Capacität der Lungen etc. (dto.)
21) Recension: Böker, Beiträge zur Heilkunde. (dto.)
22) Ueber die Herzkraft. (dto.)
23) Einige Bemerkungen über die Einspritzung von Kochsalzlösung in den Kreislauf. (dto.)
24) Uebersetzung von Pouillet's Bericht über die elektro-physiologischen Versuche von du Bois-Reymond. (dto.)

1851.

25) Ueber die Herzkraft. (Archiv f. physiol. Heilkunde, Jahrgang X.)

1852.

26) Neue Methode der quantitativen mikroskopischen Analyse des Blutes. (Archiv f. physiol. Heilkunde, Jahrgang XI.)
27) Neue Methode der chemischen Analyse des Blutes. (dto.)
*26 u. *27 auch separat erschienen: Mitteilung zweier neuen Methoden der quantitativen mikroskopischen und chemischen Analyse der Blutkörperchen und Blutflüssigkeit. Stuttgart, Ebner und Seubert.
28) Recension: Mulder, Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie. (Archiv f. physiol. Heilkunde, Jahrgang XI.)
29) Zählungen der Blutkörperchen des Menschen. (dto.)
30) Recension: Störmer, Dissert. inaug. de acidi carbonici respiratione exhalati quantitate. (dto.)
31) Recension: Helmholtz, Beschreibung eines Augenspiegels. (dto.)
32) Neue Methode der Bestimmung des Rauminhaltes der Blutkörperchen. (dto.)
33) Recension: Beneke, unsere Aufgaben. (dto.)
34) Lässt sich ein Mass für die mechanische Arbeit des Herzens finden? (dto.)
35) Untersuchungen über die Fehlerquellen bei der Zählung der Blutkörperchen. (dto.)

1854.

36) Beiträge zur Physiologie des Blutes. (Archiv f. physiolog. Heilkunde, Jahrgang XIII.)
37) Die bildliche Darstellung des menschlichen Arterienpulses. (dto.)
38) Recension: Buchheim, Lehrbuch der Arzneimittellehre. (dto.)
39) Ueber Blutanalysen. (Zeitschrift f. ration. Medicin, N. F. Bd. 4.)
40) Das Blutkörperchen-Volumen. (Archiv f. physiol. Heilkunde, Jahrgang XIII.)
[40a) Erwiderung auf die Kritik von Dr. Kreutzer's Veterinärmedicin. (dto.)].
41) Beiträge zur Physiologie des Blutes. (dto.)
42) Noch einmal das Blutkörperchenvolumen. (dto.)

1855.

43) Recension: Schauenburg, das Accommodationsvermögen der Augen. (Archiv f. physiolog. Heilkunde, Jahrgang XIV.)
44) Recension: Spiess, zur Lehre von der Entzündung. (dto.)
*45) Die Lehre vom Arterienpuls in gesunden und kranken Zuständen. Braunschweig, Vieweg und Sohn.
46) Zur Respirationslehre. (Archiv f. physiol. Heilkunde, Jahrgang XIV.)
46a) K. V. und G. Ludwig, Beiträge zur Lehre von den Atembewegungen. (dto.)
47) Zur Blutanalyse. (dto.)

1856.

48) Physiologische Mitteilungen: 1) Die Wahrnehmung des Blutlaufes in der Netzhaut des eigenen Auges, 2) Die Spannung des Arterienblutes in der Aether- und Chloroform-Narkose, 3) Versuche über die Rhythmik der Atmungsbewegungen von Tieren. (Archiv f. physiolog. Heilkunde, Jahrgang 1856.)

49) Recension: Neubauer und Vogel, qualitative und quantitative Analyse des Harns. (dto.)

50) Recension: Fick, medicinische Physik. (dto.)

51) Physiologische Mitteilungen: 1) die Choroidealgefässfigur des Auges, 2) die Wahrnehmung des Retinalkreislaufes, 3) die Durchmesser der Radialarterie, 4) die Wasserresorption der allgemeinen Bedeckungen. (dto.)

1857.

52) Versuche über die Zeitverhältnisse des Accommodationsvorganges im Auge. (Archiv f. physiol. Heilkunde, Jahrgang 1857.)

53) Die Pulscurven des Hämodynamometers und des Sphygmographen. (dto.)

1858.

*54) Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes. Frankfurt, Meidinger.

*54a) id. opus., zweite unveränderte Ausgabe mit einem Nachtrag. Berlin, Max Hirsch. 1862.

55) Zur Kritik des Hämodynamometers. (Archiv f. physiolog. Heilkunde, Jahrgang 1858).

56) Die physiologischen Recensionen im Leipziger litterarischen Centralblatt. (dto.)

57) Bemerkungen über medicinische Statistik. (dto.)

58) Das Abhängigkeitsgesetz der mittleren Kreislaufszeiten von den mittleren Pulsfrequenzen der Tierarten nach neuen Versuchen an Säugetieren und Vögeln. (dto.)

1859.

59) Die Infusion von Blut, den Militärärzten zur Beachtung empfohlen. (Allg. medicinische Centralzeitung, 56. Stück.)

60) Ueber eine fehlerhafte Anwendung der Thermometrie. (Archiv f. physiolog. Heilkunde, Jahrgang 1859.)

61) Haller's Abgang von Tübingen, eine briefliche Mitteilung an C. A. Wunderlich. (dto.)

1860/61.

*62) Grundriss der Physiologie des Menschen. (In 3 Lieferungen), Frankfurt, Meidinger, später Tübingen, Laupp & Siebeck.

1862.

63) Grundriss der Physiologie, zweite verbesserte Auflage. Tübingen, Laupp & Siebeck.

1863.

64) Zur Streitfrage von den Herznerven. (Archiv der Heilkunde, 4ter Jahrgang.)

65) Die Anforderungen an den Sphygmographen. (dto.)

66) Ueber die Messung der Sehschärfe. (Gräfe's Archiv f. Ophthalmologie, 9ter Bd. Abteilung I, pag. 163.)

66a) Die Messung der Sehschärfe. (dto. Abteilung III, pag. 219.)

1864.

67) Notiz über die Zählung der Blutkörperchen. (Zeitschrift f. rationelle Medien, Bd. 21.)

*68) Grundriss der Physiologie, dritte verbesserte Auflage. Tübingen, Laupp & Siebeck.

*69) Zum Andenken an König Wilhelm von Württemberg. Rede, gehalten in der Aula der Universität Tübingen. Tübingen, Laupp & Siebeck.

1865.

*70) Die Einheit der Wissenschaften. Rede, gehalten in der Aula der Universität Tübingen zur Feier des Geburtsfestes Sr. Majestät des Königs Karl von Württemberg. Tübingen, Laupp & Siebeck.

71) »Berichtigung« in Reichert's und Du Bois-Reymond's Archiv.

*72) Ueber Stehen und Gehen, ein populär wissenschaftlicher Vortrag, gehalten zu Stuttgart im Saale des Königsbaues. Tübingen, Laupp & Siebeck.

1867.

*73) Elementi della Fisiologia dell' uomo. Traduzione eseguita dal dottor Virginio da Vico. Milano. Francesco Vallardi.

1868.

*74) Der Zeitsinn nach Versuchen. Tübingen, H. Laupp'sche Buchhandlung.

1869.

75) Das Pendel als Messapparat der Dauer der Gesichtseindrücke. (Pflüger's Archiv f. Physiologie, Bd. II.)

76) Haemotachometrische Bemerkungen. (dto.)

77) Ueber die Ursachen der verschiedenen Entwickelung des Raumsinnes der Haut. (dto.)

78) Beschreibung einer photometrischen Methode zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. (Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, 137 Bd. pag. 200).

1870.

79) Die Abhängigkeit der Ausbildung des Raumsinnes der Haut von der Beweglichkeit der Körperteile. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. 6.) — übersetzt im Journal de l'anatomie et de physiologie, VII. Jahrgang.

80) Messung der Lichtabsorption durchsichtiger Medien mittelst des Spektralapparates. (Poggendorff's Annalen, Bd. 140.)

*81) Grundriss der Physiologie. Vierte, vollständig umgearbeitete Auflage. Tübingen (1871), H. Laupp'sche Buchhandlung.

1871.

*82) Die Anwendung des Spektralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. Tübingen, H. Laupp'sche Buchhandlung.

83) Ueber die Anwendung des Spektralapparates zur quantitativen Bestimmung von Farbstoffen. (Verhandl. d. deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin, 1871.)

84) u. 85) Zwei kleine Nachträge. (Ebenda.)

86) Photometrie der Sternspektren. (Schumacher's astronomische Nachrichten.)

1872.

87) Zur quantitativen Spektralanalyse. (Verh. d. deutsch. chem. Gesellschaft.)

*88) Die Anwendung des Spektralapparates zur Photometrie der Absorptionsspektren und zur quantitativen chemischen Analyse. Tübingen, H. Laupp'sche Buchhandlung.

1873.

89) Das Absorptionsspektrum des Hydrobilirubins. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. 9.)

*90) Anweisung zur Spektro-Colorimetrie der Zuckersäfte. Berlin, 1873 (als Manuskript gedruckt).

91) Die Farbstoffabsorption durch Kohlenpulver. (Poggendorff's Annalen, Bd. 149, pag. 565.)

1874.

91a) Die graphische Darstellung der Absorptionsspektren. (Poggendorff's Annal., Bd. 151.)

92) Physiologische Spektralanalysen. I. II. III. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. 10.)

1875.

93) Die Anwendung der quantitativen Spekralanalyse bei den Titrirmethoden. (Liebig's Annalen der Chemie, Bd. 177.)

94) Physiologische Spektralanalysen IV. V. (Zeitschrift f, Biologie, Bd. 10.)

*95) Die quantitative Spektralanalyse in ihrer Anwendung auf Physiologie, Physik, Chemie und Technologie. Tübingen 1876, H. Laupp'sche Buchhandlung.

96) Physiologische Spektralanalysen. VI. VII. VIII. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. 11).

1876.

97) Die Bewegungsempfindung. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. 12.)

*98) Physiologie des Kindesalters. Tübingen 1877, H. Laupp'sche Buchhandlung (In Gerhardt's Handbuch der Kinderkrankheiten).

1877.

*99) Grundriss der Physiologie. Fünfte vollständig umgearbeitete Auflage. Tübingen, H. Laupp'sche Buchhandlung.

1878.

100) Zur quantitativen Spektralanalyse. (Wiedemann's Annalen der Physik und Chemie, Bd. 3.)

100a) Zur quantitativen Spektralanalyse. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. 14.)

101) Die Bestimmung des Indigblaues mittelst der quantitativen Spektralanalyse. (Fresenius' Zeitschrift f. analyt. Chemie, Bd. 17.)

102) Die Messung der Schallstärke. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. 14.)

103) Physiologische Spektralanalysen IX. Sauerstoffzehrung der lebenden Gewebe. (dto.)

1879.

104) Die Sprache des Kindes. (Deutsche Revue. III. Jahrgang, 2. Bd.)

105) Der Zeitsinn. (dto., IV. Jahrgang.)

1880.

106) Die Aufgaben der heutigen Physiologie. Ein Beitrag zur Vivisektionsfrage. (Deutsche Revue. IV. Jahrgang.)

1881.

*107) Physiologie des Kindesalters, 2te umgearbeitete Auflage. Tübingen, H. Laupp'sche Buchhandlung. (In Gerhardt's Handbuch der Kinderkrankheiten.)

108) Photometrie der Fraunhofer'schen Linien. (Wiedemann's Annalen. N. F. Bd. XIII.)

109) Das Mass der Schallstärke. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. XVII.)

1882.

110) Das Gesetz der Schwächung des Schalles bei seiner Fortpflanzung in der freien Luft. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. 18.)

111) Psychophysische Bemerkungen. (dto.)

1883.

112) Ueber Schallstärkemessung. (Wiedemann's Annalen der Physik, Bd. XVIII.)

113) Messung der Schallschwächung im Telephon. (Ebenda, Bd. XIX.)

114) Messung der Schwächung des Schalles bei dessen Durchgang durch Teile des lebenden Körpers. (Zeitschrift f. Biologie, Bd. XIX.)

1884.

115) Bestimmung der Schallstärken des Schallpendels. (Wiedemann's Annalen. N. F. Bd. XXI.)

1885.

*116) Die Schall- und Tonstärke und das Schalleitungsvermögen der Körper. Nach dem Tode des Verfassers herausgegeben. Tübingen, H. Laupp'sche Buchhandlung.

DEC 31 1919
LIBRARY

§ 1. Aufgaben.

Die Geschichte der erklärenden Naturwissenschaften zeigt uns bekanntlich in zahllosen Beispielen, deren Beweiskraft durch keine einzige gegenteilige Erfahrung beeinträchtigt worden ist, dass die Erscheinungen nur und immer nur dann der strengwissenschaftlichen Erforschung zugänglich werden, wenn es gelingt, ihre Grössen- und Stärkewerte messen zu können. Dieses Ziel auch auf dem bisher so vernachlässigten Gebiete der Schall- und Tonstärke endlich zu erstreben, ist die Aufgabe der vorliegenden Schrift, die mittelst psychophysischer Methoden physikalische Intensitätswerte zu messen versucht, für welche die Physik zur Zeit noch kein allgemeines objektives Messverfahren besitzt.

Diese Schrift zerfällt in drei Teile:

Erstens handelt es sich — als Grundlage aller weiteren Untersuchungen — um die Herstellung von Schallen und Tönen jedweder beliebigen und genau messbaren Stärke. Obschon die physikalische Akustik Apparate besitzt, die diese Forderung vollständig erfüllen, so wurden dieselben bis jetzt fast nur im physiologischen und medicinischen Interesse verwertet, indem man ihre Anwendung nahezu ausschliesslich auf die Messung des Unterscheidungsvermögens des Gehörsinnes für Schallstärken und auf die Bestimmung der Hörschärfe von Gehörkranken beschränkte. Die praktische Bedeutung dieser Technicismen ist aber, wie die Otiatriker schon längst wissen, geringer, als man von vornherein erwarten möchte. Dem Hören des gesprochenen Wortes gegenüber treten ja sämtliche übrigen, wenn auch noch so mannigfaltigen und an sich wichtigen, Verwendungen unseres Gehörsinnes an Bedeutung ausserordentlich zurück. Das Hören einzelner relativ inhaltsloser Schalle und Töne ist eben eine akustisch sehr viel leichtere und einfachere Aufgabe, als das Verstehen eines Sprechenden. Experimentiert man am Schwerhörigen mit momentanen Schallen oder Tönen, so kann es in der That oft sehr auffallen,

wie wenig ihr Gehör in dieser Beziehung beeinträchtigt erscheint. Ein Mann, der durch eine mässige Schwerhörigkeit in der Ausübung seines richterlichen Berufes auf eine für ihn peinliche Weise häufig gestört wurde, konnte durch hölzerne Conductoren seinem Ohr zugeführte Schalle eben nicht hören, die noch nicht zwanzigmal stärker waren, als die meinem gut hörenden Ohre noch kenntlichen schwächsten Schalle; ein Zweiter mit viel bedeutenderer Schwerhörigkeit, mit dem ich, um ihm verständlich zu werden, sehr laut sprechen musste, hatte unter denselben Versuchsbedingungen bei einer mit ihm angestellten Prüfung bloss eine 47mal grössere Schallstärke nötig als ich, um einen eben noch merklichen Eindruck zu erhalten. Immerhin aber sollten die Otiatriker Schalle von gut messbarer Stärke zum Hören sowohl aus der Luft als aus hölzernen Conductoren häufiger zu genannten Zwecken verwenden; die Menschenstimme, wie sie von ihnen so ohne Weiteres als Reagens auf den Grad der Hörschärfe benützt wird, ist eine gar zu unsichere akustische Grösse und ein zu armseliges Auskunftsmittel, um wissenschaftlich in Frage zu kommen.

Unsere zweite Aufgabe besteht in der Messung der Schwächung, welche der Schall bei seinem Durchgang durch die verschiedenen Medien erleidet. Die quantitative Bestimmung des Schallschwächungsvermögens der Körper ist bis jetzt bekanntlich auf dem Versuchswege noch nicht erstrebt, geschweige gelöst worden. Die der Wissenschaft hier vorliegenden Aufgaben sind ebenso unerschöpflich wie von grösster theoretischer und praktischer Wichtigkeit. Die Untersuchung einer Anzahl hieher gehöriger Aufgaben bildet naturgemäss einen Hauptteil dieser Schrift.

Als dritte und letzte Aufgabe ergiebt sich die Messung der Stärke beliebiger gegebenen, in ihren Entstehungsbedingungen aber nicht messbaren, Schalle und Töne, unter welchen die Phonometrie der auscultatorischen und percutorischen akustischen Zeichen uns zunächst als besonders wichtig entgegentritt [1]).

Bei unserer ersten Aufgabe kennen wir von vornherein die Versuchsbedingungen und sind also im Stande, die Stärke der Wirkung aus der messbaren Grösse der Ursachen ableiten zu können. Die Berechnung war aber bis auf die neueste Zeit, wie ich schon in früheren Arbeiten experimentell dargethan habe, eine

---

1) Für diesen im III. Teil § 63 kurz besprochenen Gegenstand war, wie es scheint, ursprünglich eine eingehendere Bearbeitung geplant.

durchaus falsche, indem sie, statt auf den messenden Versuch sich zu stützen, von, in diesem Falle nicht anwendbaren, also unter den vorliegenden Bedingungen unrichtigen, theoretischen Principien ausging.

Auch bei unserer zweiten Aufgabe handelt es sich um die Herstellung einer bestimmten Schallstärke, und zwar (in der Regel) derjenigen, welche nach dem Durchgang durch den zu prüfenden Schalleiter uns nur eine eben noch merkliche Schallempfindung verursacht, die, wie ich nachweisen werde, in jeweils wiederholten Versuchen mit wünschenswerter Genauigkeit gemessen werden kann. Die objektive Stärke des Schalls vor seinem Durchgang durch das leitende Medium lässt sich aus den Versuchsbedingungen bestimmen. Da nun auch die objektive Stärke des (unter sonst vergleichbaren Versuchsbedingungen) eine eben noch merkliche Empfindung auslösenden Schalles gemessen werden kann, so lässt sich, um nur eines der allereinfachsten Verfahren zu erwähnen, aus beiden Messungen die Schwächung bemessen, welche der Schall in dem untersuchten Medium erlitten hat. Erst gegen Ende meiner Studien gelang es mir, noch eine andere allgemeinere Messmethode der Schallschwächung beim Durchgang des Schalles durch Leiter ausbilden zu können, welche auf der Herstellung je zweier gleich starker Gehörsempfindungen von beliebiger Stärke beruht.

Unsere dritte Aufgabe wird dadurch sicher gelöst, dass wir einen Schall von unbekannter Stärke durch Medien leiten, welche denselben, wiederum bis auf den Punkt der Ebenmerklichkeit abgeschwächt, dem Ohr zuführen. Die schallschwächende Kraft dieser Medien ist aber vorher ein für allemal bestimmt, sodass ein solches akustisch kalibriertes Medium, resp. System von Medien, die Stärke des zu messenden Schalles unmittelbar angiebt.

Wenn es sich um die vollständige Charakteristik eines Schalles oder Tones handelt, so steht die Stärke desselben hinter den beiden andern Haupteigenschaften: Höhe und Qualität keineswegs an Bedeutung zurück. Die Bestimmung der Höhe, die unter sämtlichen Eigenschaften des Tones am genauesten objektiv gemessen werden kann, verlangt (wenn sie bloss mit Beihilfe der Empfindung als solcher geschehen soll) keine geringe musikalische Anlage, sowie vielfache Uebung, während die Messung der Schallhöhen selbst dem musikalisch Begabten schwer, ja unmöglich werden kann. Leicht ausführbare und allgemein zugängliche Technicismen zur objektiven Untersuchung der Timbres — nament-

lich solcher von geringer Tonstärke — besitzen wir bekanntlich keine, sodass, nach meinen vielfachen Erfahrungen, gerade diejenige Eigenschaft, die bisher experimentell am meisten, ja nahezu vollständig vernachlässigt war, die Schall- und Tonstärke, als diejenige erscheint, welche mit viel einfacheren Apparaten als jene sicher gemessen werden kann.

Die vorliegende Schrift beschränkt sich auf die Beschreibung der hier anzuwendenden Technicismen und die experimentelle Prüfung und Kritik ihrer Leistungsfähigkeit, sowie auf die Mitteilung physikalischer und physiologisch-medicinischer Messungen des Schalleitungsvermögens specieller Körper. Auf die Messung der Intensität von auscultatorischen wie percutorischen Schallen habe ich für meine Person verzichten müssen. Die Aufgabe ist eine so umfassende und setzt so specielle, mir grösstenteils abgehende, Kenntnisse im Gebiete der neueren medicinischen Auscultation und Percussion voraus, dass ich dieselbe nur sehr unvollkommen hätte lösen können. Ich habe deshalb meinen Sohn, Prof. Dr. Hermann Vierordt, aufgefordert, diese Arbeit zu übernehmen, welche derselbe in einer besonderen Schrift veröffentlichen wird [1]). Ausgehend zunächst von einem, mir ganz besonders teuren, medicinischen Interesse, wurde ich mit Notwendigkeit auch diesmal wieder zunächst in das rein physikalische Gebiet zurückgeführt, das uns hier nicht nur eine grosse Lücke noch vollständig offen lässt, als auch, verglichen mit dem Organismus, constantere Messungsobjekte bietet, die eben wegen ihrer Constanz für die Experimentalkritik der Technicismen als besonders brauchbar sich erweisen.

Dass die Stärke der am gesunden und kranken Organismus mittelst der Auscultation und Percussion zu beobachtenden akustischen Phänomene eine gleichgültige Eigenschaft der letzteren wäre, wird kein wissenschaftlicher Arzt behaupten wollen. Bieten doch die der Auscultation zugänglichen, spontan auftretenden, akustischen Erscheinungen im Organismus sehr erhebliche Intensitätsunterschiede, welche von Nebenbedingungen abhängen, die uns, teilsweis wenigstens, bekannt sind, und lassen sich doch unter Umständen diese Erscheinungen entweder künstlich abändern, d. h. verstärken oder schwächen, oder unter bestimmten und analysierbaren pathologischen Verhältnissen beobachten, sodass

1) Diese (allerdings nur ein ganz bestimmtes Gebiet der physikalischen Diagnostik behandelnde) Schrift ist erschienen unter dem Titel: Die Messung der Intensität der Herztöne, Tübingen 1885, Laupp'sche Buchhandlung.

wir alle Aussicht haben, nachdem sie quantitativ bestimmbar geworden sind, ihr Abhängigkeitsverhältniss von ihren Entstehungsursachen auf dem Wege der Messung sicher feststellen zu hönnen.

Mit der Möglichkeit, Phänomene von wechselnder Stärke quantitativ zu bestimmen, erhalten dieselben für uns gewissermassen eine ganze Reihe neuer wichtiger und praktisch verwertbarer Eigenschaften. Gelingt dann noch die Messung des Grössenwertes der sie veranlassenden Ursache, so werden sie sogar der Erklärung unmittelbar zugänglich. Hängen sie, wie das bei den organischen Erscheinungen in der Regel der Fall ist, von einem kleineren oder grösseren Complex wirkender Ursachen ab, die wenigstens teilweis messbar sind, so werden wir unter allen Umständen bewahrt vor einseitiger Ueberschätzung oder Unterschätzung bestimmter ursächlicher Momente und gelangen immerhin zu einer genäherten vorläufigen Erklärung der Phänomene.

Es ist mir nicht möglich gewesen, der Darstellung eine durchweg streng systematische und knappe Form zu geben. Wiederholungen sind da und dort geradezu unvermeidlich geworden, selbst ein Eingehen auf ermüdendes Detail konnte dem Leser nicht immer erspart werden; möge das durch die Neuheit des Gegenstandes, sowie damit entschuldigt werden, dass die vorliegende Arbeit — mit mehreren zum Teil langen Unterbrechungen — sich über eine der Horaz'schen Forderung nahezu entsprechende Reihe von Jahren erstreckt hat.

Beim Mangel jedweder Vorarbeit über die Schallstärke konnten die Methoden und Technicismen der Messung nur nach und nach mühsam gefunden und Ausgangspunkte zu neuen und weiter führenden Fragestellungen gewonnen werden. Die Messungsmethoden mussten durch die materiellen Versuchsresultate und die Versuchsresultate wiederum durch die technischen Methoden geprüft werden, alles ganz ungeahnte Hindernisse, die mir die allergrössten Schwierigkeiten bereitet haben. Den anfangs von mir ausgeführten Messungen haften constante Coefficienten an, deren Elimination mir erst in der Folge gelungen ist; gleichwohl habe ich keine Ursache, diese unvollkommenen Ergebnisse langer und mühsamer Studien völlig bei Seite zu lassen, indem die betreffenden Messungen, namentlich des Schalleitungsvermögens der Körper, immerhin zu unter sich vergleichbaren Werten geführt haben.

Im weiteren Verlauf meiner Arbeit fand ich mit verbesserten Methoden — was ich von vornherein für absolut unmöglich ge-

halten habe — dass der Grad der individuellen Hörschärfe innerhalb der Schwankungen des normalen Lebens (über die bezüglichen Leistungen Schwerhörender habe ich keine Erfahrungen) ohne jeden Einfluss auf die objektive Genauigkeit der Messung der Schallstärken ist. Schwache Schalle sind dem minder gut Hörenden selbstverständlich unzugänglich; von einer gewissen Stärke an misst derselbe jedoch jeden Schall ebenso genau, wie ein scharf hörendes Ohr. Unsern Messungen haftet also, wie ich mit besonderer Genugthuung versichern darf, kein subjektiver Einfluss an.

Mit sehr gemässigten Erwartungen in Betreff der Leistungsfähigkeit unseres Hörsinnes an meine Aufgabe herantretend, machte ich bald die erfreuliche Wahrnehmung, dass die Messungsmethoden jeder billigen Anforderung genügen und auch für rein physikalische Untersuchungen mit vollem Recht solange empfohlen werden können, bis eine einer allgemeinen Anwendung fähige und bequeme objektive Methode der Schallstärkemessung (s. § 2) wird erfunden sein. Aber auch, wenn dieses hohe Ziel dereinst erreicht wird, so bietet unser Hörorgan immer noch soviele Vorteile als allzeit zur Verfügung stehendes Messungsinstrument, dass seine bequeme Verwendung zu den praktischen Aufgaben der Percussion und Auscultation und der Untersuchung des Schalleitungsvermögens der Körperteile, sowie selbst zu physikalischen Zwecken, niemals ganz verdrängt werden wird. Die Physik ist in der That schon jetzt in den Stand gesetzt, für die Schallstärke, statt der bisherigen allgemeinen und unbestimmten Ausdrücke, die keine weitere Verwendung gestatten, empirisch gefundene Massgrössen in ihre Formeln einführen zu können.

Ich werde den Nachweis liefern, dass sogar die Schwächung, welche der Schall bei seiner Fortleitung durch eine Reihe verschiedener Medien von beliebiger Länge und beliebigem Querschnitt in jedem Einzelmedium erleidet, gemessen werden kann.

Nicht mit Unrecht nenne man die Wärme ein schwer coërcibeles Agens, das eben deshalb dem calorimetrischen Versuch so bedeutende Schwierigkeiten entgegensetzt; ich mache mich keiner Uebertreibung schuldig, wenn ich die Schallschwingungen für den Experimentator — vorerst wenigstens — als absolut incoërcibel bezeichne. Die Versuchsanordnung mag noch so rationell sein, immer geht ein Teil der Schwingungen für die Beobachtung und Messung mit Notwendigkeit verloren.

Gleichwohl habe ich keinen Anlass gehabt, auch die Verluste — was immerhin möglich wäre — quantitativ zu bestimmen oder

sie durch bessere Absperrung des Schalles so gut als thunlich zu verhüten; die Fundamentalgesetze der Schallschwächung bei dessen Fortleitung, die bisher unbekannt geblieben waren, und viele sonstige Fragen, lassen sich ohne jene Corrections- und Vorsichtsmassregeln mit genügender Sicherheit feststellen. Immerhin empfehle ich aber, wenigstens für gewisse physikalische Messungen, den eingreifendsten Quellen von Nebenverlusten der Schallstärke aus dem Wege zu gehen, oder die Grösse derselben zu bestimmen.

Unter den ebenso zahllosen als verschiedenartigen Untersuchungsobjekten der Phonometrie musste ich — auch mit bestem Willen und möglichstem Fleiss — eine mehr oder weniger einseitige Auswahl treffen; auch konnte ich, wenn meine Studien zu einem vorläufigen Abschluss gebracht werden sollten, in der Regel die Objekte nur in einer verhältnismässig kleinen Anzahl von Einzelmessungen prüfen. Wenn in der Folge jedem wissenschaftlich oder praktisch beachtenswerten schalleitenden Medium, jedem unter bestimmten Bedingungen auftretenden, die Wissenschaft oder Praxis interessierenden, Schall ebenso viele Hunderte oder gar Tausende von Einzelmessungen zugewandt werden, als ich sie in der Regel bloss zu Dutzenden oder Hunderten jeweils anstellen konnte, so werden wir Mittelwerte erhalten, die an objektiver Exactheit gar nichts zu wünschen übrig lassen. Der Zeitaufwand zur vorläufig befriedigenden Bestimmung der phonometrischen Constanten eines einzigen Schalleiters wäre, wie ich zu bemerken nicht unterlassen möchte, ein verhältnissmässig kleiner; er würde für den gehörig Geübten nicht mehr als etwa zwei oder drei Stunden betragen.

Obschon ich eine nicht geringe Zahl von physikalischen und physiologisch-medicinischen Schallstärkemessungen in dieser Hinsicht mitteilen kann, bestand doch meine Hauptaufgabe in der Auffindung brauchbarer Messungsmethoden und der Kritik ihrer Leistungsfähigkeit. Diesem Ziele glaube ich mich soweit genähert zu haben, dass für meine Nachfolger jedenfalls ein nicht unerheblicher Teil der vielen Hindernisse, um auf diesem Gebiete mit Sicherheit weiter schreiten zu können, und die ich nur nach und nach und mit schweren Zeitverlusten zu beseitigen vermochte, von vornherein weggeräumt ist. Die von mir angewandten Methoden bedürfen freilich sowohl in Bezug auf einzelne Punkte der Technik, als auf erschöpfende Experimentalkritik ihrer Leistungsfähigkeit noch vielfach wiederholter Durchprüfungen. Billige Nachfolger werden die unvermeidlich grossen Lücken meiner Schrift nach-

sichtig beurteilen. Ganz besonders bin ich bestrebt gewesen, dem Arzt möglichst einfache, am Krankenbett ohne Weiteres mit Leichtigkeit verwendbare und vor Allem auch ohne nennenswerte Kosten herstellbare, Technicismen an die Hand zu geben. Eine gewisse Anstrengung, um in der medicinischen Phonometrie weiter zu kommen, ist freilich dem noch Ungeübten nicht zu ersparen. Die Entdeckungen Auenbrugger's und Laennec's der Messung zugänglich zu machen und damit eine nicht bloss nominelle »physikalische Untersuchungsmethode« auf diesen wichtigen Gebieten herzustellen, ist aber ein schönes, der höchsten Opfer würdiges Ziel der Forschung und ein dringendes Bedürfniss der heutigen medicinischen Wissenschaft und Praxis.

Erster Teil.

Herstellung und Messung von Schallen und Tönen von beliebiger Stärke.

§ 2. Princip der akustischen Intensitätsmessung.

Die vor mehr als 40 Jahren von Bindseil in seiner Akustik (Potsdam 1839) geäusserte Klage: »Man hat Dynamometer oder Stärkemesser für vielerlei Kräfte der Natur, aber keinen Tonstärkemesser« ist bis auf unsere Tage nahezu vollständig berechtigt gewesen.

Radau (Lehre von Schall, München 1869 S. 78) äussert sich über die Schallstärkemessung: »Was derartige Beobachtungen sehr erschwert und unsicher macht, ist der Umstand, dass es eigentlich kein Instrument giebt, mit welchem man die Stärke des Schalles messen könnte, so dass man sich schliesslich auf das Ohr verlassen muss«.

In der zweiten Auflage seiner Physik, Zürich 1871 S. 386 (ebenso in der 3. Auflage 1878 pag. 418) sagt Mousson: »Vollends fehlt dem Ohr jeder Massstab für eine quantitative Bestimmung der Tonstärke, wie überhaupt diese Eigenschaft des Tones bis jetzt jeder genauen, selbst objektiven Messung entgangen ist«.

»Genauere Messungen« sagt Wüllner (Lehrbuch der Experimentalphysik I, 681. Leipzig 1874) »über die Abnahme der Schallstärke mit der Entfernung, wie überhaupt über die Stärke des Schalles giebt es nicht, da es für den Schall keinen exacten Messapparat giebt und die vorhandenen Sonometer nur dazu dienen können, ein Mehr oder Minder der Schallstärke zu zeigen, nicht aber genaue Messungen anzustellen«. Ferner äussert er sich: »Schalle gleicher Qualität können wir nur, wenn sie nach einander wirken mit einander vergleichen und dadurch ist jede Messung (?) ausgeschlossen«.

Die Schwingungsexcursionen der tönenden Körper sind absolut viel zu gering und zeigen innerhalb der für unsern Em-

pfindungszustand ungeheuren Breite zwischen höchst schwachen und ausserordentlich starken Tönen und Schallen so kleine absolute Unterschiede, dass sie sich, wenigstens bei starren und tropfbar flüssigen Medien, niemals zu befriedigenden Massen der Schallstärke direkt werden verwenden lassen. Die vielseitigen Leistungen der neueren Vibrographie haben die Akustik mächtig gefördert, wirkliche Intensitätsmessungen der Schalle sind aber auf diesem Wege nicht erzielt worden. Selbst die, nur der gewandtesten Experimentierkunst zugängliche optische Methode, welche Töpler und Boltzmann (Poggendorff's Annalen der Physik 1870) zur Analyse der Schwingungen tönender Luftsäulen anwandten (bei welcher in sinnreicher Weise zwei intermittierende Lichtbündel durch eine ruhende und durch eine schwingende Luftschicht geleitet und zur Herstellung von Phasenunterschieden ihrer Schwingungen und somit zur Bildung von Interferenzstreifen benützt wurden) könnte, da es sich immer nur um Schwingungsexcursionen höchstens von wenigen Millimetern im Schwingungsbauch handelt, keine allzugrosse Anzahl verschieden abgestufter Tonstärken mit Sicherheit unmittelbar zu messen gestatten. Ebensowenig gelang es, Ton- und Schallschwingungen in anderweitige, objektive und besser messbare Bewegungen umzusetzen, sodass die physikalische Akustik auf die Aufstellung eines objektiven Masses der Schallstärke geradezu verzichtete.

Alle Bemühungen, welche die Messung der Resonanz eines abgeschlossenen Luftraumes bezwecken, beziehen sich auf so specielle und beschränkte Versuchsbedingungen (s. z. B. A. Heller über eine Intensitätsmessung des Schalles, Poggendorff's Annalen, 1870, Bd. 141, S. 566), dass sie wohl keiner weiteren Ausbildung fähig sind.

W. Weber hatte (Abhandlung über elektrodyn. Massbestimmungen I, 297) übrigens schon vor 1846 darauf hingewiesen, dass es möglicherweis gelingen könnte, durch Schallschwingungen proportionale elektrische Ströme zu erregen, die als Mass der Schallstärke zu verwenden wären; aber erst A. Oberbeck ist es unlängst gelungen (Wiedemann's Ann. d. Physik. 1881. XIII. 222), diesen Gedanken, jedoch in anderer Form, als Weber angedeutet hatte, experimentell zu verwerten.

Die sinnreich ausgedachte Methode besteht im Wesentlichen darin, dass ein, in einem geschlossenen Stromkreis eingeführtes Mikrophon (Fig. 1 und Fig. 2 (M)) durch den zu messenden Schall in Schwingungen versetzt wird. Die Schwingungen des Mikro-

phones vermehren den Widerstand zweier leicht gegeneinander gedrückten Contakte (letztere bestehen bekanntlich beim Mikrophon aus 2 kleinen Kohlenplättchen k und k^1); die Stärke des galvanischen Stromes erfährt somit periodische Veränderungen, die mit einem Galvanometer g (schematische Fig. 2) gemessen werden.

Auf der oberen Platte des Resonanzkastens des Mikrophons (Fig. 1) befindet sich ein kleiner Kohlencylinder k in einer Messinghülse; ferner ein Achsenlager a, das den Messinghebel b trägt, an dessen Ende ein zweiter Kohlencylinder k^1 angebracht ist. Der andere Arm des Messinghebels trägt ein verschiebbares Gegengewicht c, das so eingestellt wird, dass der obere Kohlencontact

Fig. 1.

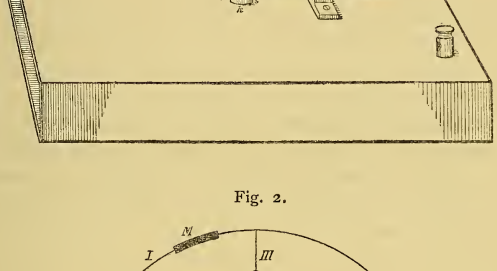
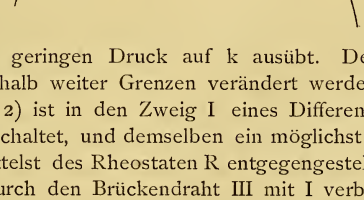


Fig. 2.



k^1 nur einen geringen Druck auf k ausübt. Der Druck kann übrigens innerhalb weiter Grenzen verändert werden. Das Mikrophon M (Fig. 2) ist in den Zweig I eines Differentialwiderstandsmessers eingeschaltet, und demselben ein möglichst gleicher Drahtwiderstand mittelst des Rheostaten R entgegengestellt. Der Stromzweig II ist durch den Brückendraht III mit I verbunden, und in die Brücke ist ausserdem ein Galvanometer eingeschaltet. Der Brückendraht ist so eingestellt, dass die Nadel auf Null steht. Vergrössert sich nun der Mikrophonswiderstand, so fliesst ein Strom durch die Brücke, welcher die Nadel ablenkt; die am

Galvanometer ablesbare Stärke dieses Stromes lässt auf die Widerstandsvermehrung schliessen.

Der Apparat giebt stets nur vergleichbare relative Werte. Leider wird seine Verwendung dadurch bedeutend beeinträchtigt, dass viele Schalle und Töne das Mikrophon nicht, oder nicht genügend, oder der Gesamttonstärke nicht proportional erregen, wie freilich bei einer, wesentlich nur durch Resonanz wirkenden Vorrichtung nicht anders erwartet werden kann. So reagiert z. B. das Instrument nicht auf den Schall, der durch Aufschlagen einer Bleikugel auf eine Schieferplatte entsteht, wohl aber, wenn die Kugel auf eine Holzplatte fällt; thunlichst gleich starke Töne des Pianino erregen je nach der Tonhöhe schon innerhalb derselben Octave das Mikrophon in sehr verschiedenem Grade. In den Oberbeck'schen Versuchen wurden immer die Schwingungen der ursprünglichen Schallquelle durch die Luft auf das Mikrophon übertragen, sodass die Beobachtung am Mikrophon mit der Beobachtung durch das Ohr ohne Weiteres vergleichbar ist.

Neuerdings (1881) hat Neyreneuf die Schwächung gemessen, welche der Schall erleidet bei seiner Fortpflanzung durch Luft, die von cylindrischen Röhren von verschiedener Länge (71—172 Cm.) und verschiedenem Durchmesser (0,6 bis 1,8 Cm.) eingeschlossen ist. Als Schallquelle diente eine von einem Hammer angeschlagene, in einem Gehäus befindliche, Glocke; die Röhren communicierten mit dem Luftraum des Gehäuses, und man hatte bei der Messung der Schallstärke den Abstand zu finden, in welchen die Mündung der Röhre gebracht werden musste, damit eine »empfindliche Flamme« beim Ton der Glocke anfieng, unbeweglich zu bleiben.

Da die objektive Phonometrie noch in ihren ersten Anfängen begriffen, ausserdem nur auf bestimmte Gattungen von Schallen und Tönen anwendbar ist und die ihr entgegenstehenden, experimentellen Schwierigkeiten keine geringen sind, so müssen wir, wenn wir die vorliegende Aufgabe zum Ziele führen wollen, auch hier den Sinn in Anspruch nehmen, der auf die betreffenden physikalischen Bewegungen mit entsprechenden Empfindungen antwortet: den Gehörsinn. Dieser kann in der That als feinstes, empfindlichstes und ohne Weiteres zu unserer Verfügung stehendes Reagens auf die Schallschwingungen auch zur Messung der absoluten Stärke der objektiven Schalle verwendet werden und ist schon in einigen Fällen zu diesem Zwecke benützt worden. Die hier zu Gebot stehenden Methoden wären etwa folgende:

I. Man vergleicht das zu messende akustische Phaenomen mit einem andern künstlich erregten Schall, dessen Stärke beliebig verändert werden kann. Der künstliche Schall wäre demnach derartig abzustufen, bis derselbe von der Stärke des zu messenden Schalles nicht mehr unterschieden werden könnte. Die bekannten Entstehungsbedingungen des künstlichen Schalles, z. B. das Aufschlagen einer durch einen bestimmten Raum herabfallenden Kugel auf eine schwingungsfähige Platte, würden somit vergleichbare Grössenwerte für die zu messenden Schallstärken geben. Obgleich unsere Unterscheidungsempfindlichkeit auf dem Gebiet der Tonstärke viel weniger leistet, als wenn es sich um Tonhöhen oder Tontimbres handelt, so würde sie gleichwohl mit grösstem Vorteil für den vorliegenden Zweck verwendet werden können. Dieser Methode steht aber von vornherein die Unmöglichkeit entgegen, Geräusche und Töne von bestimmter Stärke und zugleich beliebigen Timbres künstlich hervorbringen zu können. Beziehen sich die mit einander zu vergleichenden Ton-(Schall-)Stärken zugleich auch auf erheblich verschiedene Ton-(Schall-)Qualitäten, so ist für uns die Vergleichung der Intensitätsgrade der entsprechenden Empfindungen viel zu schwer, als dass wir letztere zu brauchbaren Messungen in Anspruch nehmen könnten.

II. Ein zweites Verfahren könnte etwa darin bestehen, dass ein künstliches Geräusch neben dem zu messenden erzeugt, und jeweils so lange in seiner Intensität verstärkt würde, bis das zu messende Geräusch anfängt, nicht mehr hörbar zu sein. Es kann aber ein Geräusch von der Intensität a nur dann in einem andern Geräusch von der Intensität b aufgehen, d. h. b + a kann nicht mehr unterschieden werden von b allein, wenn beide Geräusche gleiche Timbres und Höhen haben. Andernfalls kann z. B. ein schwaches hohes Geräusch ganz gut neben einem sehr starken tiefen gehört werden. Die Herstellung aber von anhaltenden Geräuschen bestimmter Intensität und bestimmten Timbres ist mit den grössten Schwierigkeiten verbunden; jedenfalls wäre sie so umständlich, dass an die Verwendung dieses Principes zu unsern Zwecken nicht gedacht werden könnte.

III. Unsere Aufgabe kann aber vollständig gelöst werden, wenn wir diejenige Schallstärke benützen, welche an der Grenze der Ebenhörbarkeit sich befindet. Diesem Schwellenwert der Empfindung entspricht für jedes Ohr irgend eine bestimmte, wie ich später zeigen werde, leidlich konstante, und darum genügend zuverlässige Grösse a der objektiven

Bedingungen der Schallerzeugung. Demnach haben wir bei der Bestimmung des Schalleitungsvermögens eines Mediums den dem letzteren zugeleiteten künstlich erzeugten Schall so lange abzuschwächen, bis derselbe nach seinem Durchgang durch das Medium nur als eben noch hörbar empfunden wird. Der dazu erforderliche Schall hat aber wiederum seine bestimmte messbare Stärke b; aus a und b kann somit, um mich vorerst nur auf eine Methode zu beschränken, die Schwächung, welche der Schall in dem zu prüfenden Medium erleidet, gemessen werden. Oder wenn es sich um die Bestimmung der Intensität irgend welches, z. B. eines auskultatorischen, Tones oder Geräusches handelt, so muss letzteres durch stufenweise Abschwächung in einem mit dem Ohr in Verbindung stehenden Schalleiter von bekannter schallschwächender Wirkung abgemindert werden, bis es an die Grenze der Ebenhörbarkeit gebracht worden ist.

Auch die physikalische Akustik hat schon vereinzelte Versuche gemacht, die Stärke von Klängen in analoger Weise objektiv zu messen, d. h. den Punkt zu bestimmen, bei welchem eine gegebene objektive Wirkung des Klanges eben aufzuhören beginnt. So hat z. B. W. Weber aufgespannte Membranen, Papierblätter und dergl. vorgeschlagen, die mit Sand bestreut werden (s. Bindseil, Akustik S. 613). Tönende Instrumente bringen die Membran und den Sand in Bewegung und erst bei einer bestimmten Entfernung des Instrumentes von der schwingungsfähigen Membran hört die Bewegung auf.

Das Ohr ist aber ein unendlich feineres Reagens für schwache akustische Bewegungen, als jedwede denkbare physikalische Vorrichtung. Töpler und Boltzmann haben, nachdem sie mittelst ihrer oben angedeuteten Methode die Gesamtverschiebung der im Bauch einer gedeckten Pfeife schwingenden Luftteilchen unter gegebenen Nebenbedingungen zu 5,27 Mm. ermittelt hatten, den Versuch gemacht, die Stärke der Luftbewegung im freien Raum an der Grenze der Hörbarkeit (es war ein Abstand von 115 Meter) zu bestimmen. Diese Physiker halten sogar, gestützt auf ihre Erfahrungen, die Pfeife für eine viel geringere Quelle von lebendiger Kraft, als eine Kerze. Die Dichtigkeitsänderung während der nach obigem Princip berechneten sehr kleinen Schwingung betrug 13 Hundertmilliontel der normalen Luftdichte; die mechanische Arbeit, welche in 1 Sekunde durch den Q.Mm. Fläche (bei 115 M. Abstand) ging, war ein Hundertbilliontel Kilogramm-

meter. Wird für den Gehörgang ein Querschnitt von 33 Q.Mm. angenommen, so müsste in 1 Sekunde 1 Dreibilliontel eines Kilogrammeters an das Ohr abgegeben werden. Eine Kerze, die in einer Stunde 8,2 G. Walrat verzehrt, sendet in 1 Stunde $^1/_{35}$ Kilogrammeter in Form von Strahlung aus, also kommen auf 1 Q.Mm. in 115 M. Abstand $5^3/_4$ Billionteile eines Kilogrammeters, d. h. 17 mal mehr, als im obigen akustischen Versuch. Der Unterschied beider Kraftquellen wird freilich nicht so gross sein und zudem eher zu Gunsten der Kerze ausschlagen, (da die Schallstärke in der freien Luft nicht im quadratischen Verhältnis der Abstände von der Schallquelle abnimmt), immerhin aber ist die Behauptung von Töpler und Boltzmann vollberechtigt, dass das menschliche Ohr in der Wahrnehmung der ihm zugedachten Schwingungsarbeit eine hohe Leistungsfähigkeit besitzt.

Zur Messung von objektiv gegebenen und von uns nicht willkürlich herstellbaren Schallstärken steht uns, abgesehen vielleicht von der in den ersten Anfängen begriffenen und vorerst nur eine beschränkte Anwendung gestattenden Oberbeck'schen Methode, demnach keine andere Methode zu Gebot, als die mittelst geeigneter Vorrichtungen erzielte Zurückführung des zu messenden Schalles auf seinen schwächsten, eben noch hörbaren Eindruck, d. h. auf den individuellen Schwellenwert der Gehörsempfindung. Dass derartigen Messungen gar nichts Subjektives anhaftet (während eine erste oberflächliche Erwägung eher das Gegenteil anzunehmen geneigt wäre), werde ich später experimentell nachweisen.

IV. Die Empfindungsschwelle kann zu phonometrischen Untersuchungen jedweder Art angewandt werden. Die auf der Schwelle beruhende Messmethode ist somit eine universelle im ganzen Bereich der Phonometrie. Im späteren Verlauf meiner Studien habe ich aber in einzelnen Versuchsreihen eine zweite Methode ausbilden können, die den Vorteil gewährt, dass sie auf der Vergleichung je zweier gut hörbarer Schalle und Töne jeweils derselben Timbres beruht. Die Methode ist vorerst auf das weite Gebiet der Messung der Schallschwächung bei der Fortpflanzung des Schalles durch Medien jedweder Aggregatform beschränkt, und gewährt eine erwünschte Ergänzung des auf der Schwellenempfindung basierten Messungsverfahrens. In § 29 ist die Methode allgemein, in andern §§ aber speciell in ihrer Anwendung auf Medien der drei verschiedenen Aggregatformen beschrieben. Sie beruht auf der Herstellung zweier gleich starken Empfindungen (der-

selben Timbres) von beliebig zu wählender Intensität, welche durch objektive Schalle veranlasst sind, die durch zwei verschieden lange Schichten eines Leiters von derselben Beschaffenheit dem Ohr zugeführt sind. Der durch die längere Schicht geleitete Schall wird stärker abgeschwächt, als der durch die kürzere Schicht geleitete; der erstere muss also objektiv stärker gemacht werden, als der zweite, wenn beide Empfindungen dieselbe Intensität erhalten sollen, und eben darauf beruht — wie man leicht sieht — wiederum die Möglichkeit der Messung der Schwächung, welche der Schall bei seinem Durchgang durch die Schichteinheit des leitenden Mediums erfährt.

---

§ 3. Die physiologische Empfindungsschwelle als erstes Hilfsmittel für physikalische, insbesondere akustische Intensitätsmessungen.

Unser Massprincip ist nicht bloss zur Messung der Stärke von objektiven Schallen, sowie der schallschwächenden Wirkung von schalleitenden Medien verwendbar; auch auf anderweitige physikalische Massgrössen kann dasselbe, unter Zuhilfenahme der entsprechenden Sinneswerkzeuge, ausgedehnt werden und ist schon in einzelnen Fällen in Anwendung gekommen.

Es ist deshalb geboten, dass wir uns über die Stellung und Bedeutung unseres Massprincips gegenüber den übrigen messenden Verfahrungsweisen genauere Rechenschaft geben. Betrachtungen der Art haben selbstverständlich von physiologischem Boden, vor Allem von den grundlegenden Arbeiten E. H. Weber's und Fechner's, auszugehen.

Entbehrlich (wenigstens für praktische Anwendungen) ist unser Massprincip freilich, wenn der physikalischen Messung, wie das häufig der Fall ist, objektive, also in der Regel mehr oder weniger exakte Masse zu Gebot stehen. Das zu Messende wird dann entweder direkt, d. h. in Einheiten seiner Art, ausgedrückt; hierher gehören die Messungen des Raums, der Zeit, der Masse, oder es findet ein indirektes Mass in bestimmten objektiven Wirkungen, die, so verschieden sie auch von dem zu Messenden sein mögen, zu letzterem in irgend einem gesetzmässigen Abhängigkeitsverhältnis stehen; man misst z. B. die Intensität des

elektrischen Stromes durch die Grösse der Ablenkung der Magnetnadel, durch die Menge der elektrolytischen Produkte u. s. w.; die Temperatur durch die Volumveränderungen des Quecksilbers u. s. w. — also zunächst durch Raumgrössen.

Bei der gewöhnlichen Verwendung unserer Sinne, ohne Zuhilfenahme von messenden Instrumenten und Apparaten, verfahren wir — was hier noch besonders hervorzuheben ist — im Wesentlichen in derselben Weise. Unsere Sinnesthätigkeit beim praktischen Gebrauch der Sinneswerkzeuge besteht zum Teil in wirklichen, von uns als solche beabsichtigten Messungen, in der Regel aber in Operationen, die wiederum, wie Fechner bemerkt, nichts anderes sind als Messungen, obschon das dabei zu Grunde liegende Messungsverfahren nicht in unser Bewusstsein fällt. Bei diesen subjektiven Messungen — so können sie wohl bezeichnet werden im Gegensatz zu den objektiven, mit Apparaten ausgeführten — lässt sich wiederum der oben aufgestellte wesentliche Unterschied des direkten und indirekten Messens nachweisen. Direkt, d. h. in Grössen (Einheiten) ihrer Art, taxieren wir in der That den Raum und die Zeit; indirekt, d. h. in specifischen, eigenartigen, mit andern nicht vergleichbaren Empfindungen, alle übrigen Einwirkungen (physikalische Agentien) der Aussenwelt, insofern sie im Stande sind, unsere Sinnesthätigkeit in eigentümlicher Weise anregen zu können.

Wir haben nicht bloss die qualitativ so verschiedenen Empfindungen des Rot, des Grün, des Bitteren, des Süssen, des Warmen, des Kalten, des Glatten, des Rauhen u. s. w., sondern auch innerhalb derselben Empfindungsqualität eine Reihe quantitativer Abstufungen in Form von Verschiedenheiten der Empfindungs-»stärke« z. B. des schwachen, des starken Rot, des leisen, des starken Tones u. s. w., Verschiedenheiten, die mit ungemeiner Deutlichkeit in unser Bewusstsein fallen.

Die Physiologie unterscheidet bekanntlich die Sinne in generelle und specielle. Die ersteren, der Raum- und Zeitsinn, sind an keine besonderen Sinneswerkzeuge gebunden; direkte Empfindungen (— der Ausdruck »Empfindungen« ist gestattet, obschon seine Verteidigung und Motivierung hier, um nicht allzuweit abzuschweifen, unterlassen werden muss —) des Räumlichen in der Aussenwelt verdanken wir dem Auge und der Haut (den allgemeinen Bedeckungen), während Zeitempfindungen, als die generellsten von allen, durch jedes Sinnesorgan gewonnen werden können. Dagegen werden die von der Aussenwelt in uns erregten

specifischen Empfindungen jeweils nur durch besondere, eigenartige Sinneswerkzeuge als Aufnahmsorgane bestimmter äusserer Einflüsse ermittelt.

Zeit- und Raumgrössen, an deren nicht bloss empirischen, sondern absoluten Realität die objektive Naturforschung, trotz aller spekulativen Schrullen der Schulen, festhalten muss und thatsächlich festhält, sind rein extensiver Natur; sie bieten also in ihrem Wachstum nicht bloss an und für sich, sondern auch für unseren Empfindungsinhalt nichts qualitativ Neues. Demnach sind sie, objektiv wie subjektiv, blosse Juxtapositionen gleichartiger Elemente. Der doppelte räumliche Abstand, die zweimal grössere objektive Zeit machen — innerhalb weiter absoluter Grenzen — auf uns in der That annähernd den doppelten räumlichen oder zeitlichen Eindruck. Wir erhalten also, indem wir Grössen dieser Art entweder an und für sich auffassen, oder mit anderen vergleichen, wahre Multipla der Empfindungen (E. H. Weber). Demnach führen wir, wenn wir durch unmittelbare Sinnesthätigkeit Zeit- oder Raumgrössen mit einander vergleichen, im Wesentlichen dieselben Messungsoperationen aus, welche der mit einem objektiven Massinstrument bewaffnete Sinn ausführt, d. h. wir messen immer mit (objektiven oder subjektiven) Masseinheiten von derselben Art, wie das zu Messende selbst. Die Generalsinne sind also unmittelbar messende Sinne mit rein quantitativem, an sich sehr einfachem, Empfindungsinhalt.

Ganz anders verhalten sich die Specialsinne, indem uns jeder derselben mannigfaltige und ihrem Inhalt nach durchaus verschiedenartige Empfindungen verschafft. Diese Empfindungen, als psycho-physiologische Effekte der Wirkung bestimmter äusserer Agentien auf bestimmte Sinneswerkzeuge und deren eigenartig funktionierende Nervencentren, sind nicht minder charakteristische und sichere Folgen der betreffenden äusseren Agentien, als alle sonstigen physikalischen Wirkungen, welche die letzteren auszuüben vermögen. Unsere Empfindung der Wärme ist eine ebenso regelmässige Folge der objektiven Temperatur, als die Volumzunahme der Körper oder die elektrischen Ströme u. s. w., die durch die Wärme hervorgebracht werden.

Die specifischen Empfindungen bieten uns also immer nur indirekte Masse äusserer physikalischer Bewegungen ganz in demselben Sinne, wie die Ablenkung der Magnetnadel ein Mass der Stärke des elektrischen Stromes darstellt. Die Masstäbe und Masseinheiten bei diesen indirekten objektiven (physikalischen) und

subjektiven (physiologischen) Messungen sind also von ganz anderer Art, als das zu Messende selbst.

Das Räumliche und Zeitliche konnte, als ein an sich Einfaches, ein einfaches objektives wie subjektives Mass und zwar seiner Art finden, während ein physikalisches Agens eben wegen seiner mannigfaltigen Beziehungen zu anderen Agentien, wie zu dem empfindungsfähigen Organismus, jeweils verschiedenartigen Massen und Massmethoden zugänglich sein muss.

Während der Raum- und Zeitsinn uns, wie bemerkt, wahre Multipla der Empfindungen verschafft, verhalten sich die Specialsinne, wie E. H. Weber, besonders aber Fechner (in seiner epochemachenden Psychophysik) ausgeführt haben, ganz anders. Wir bemerken bei zunehmender Stärke des Sinnesreizes eine Steigerung unseres Empfindungsinhaltes; deutliche Multipla desselben haben wir aber bekanntlich nicht. Der vielfach Geübte, welcher Gewichte mittelst seines Muskelsinnes und der Druckempfindungen der Haut mit oft auffallender Sicherheit in ihren conventionellen Massgrössen taxiert, hat dabei nicht die Empfindung, dass z. B. die annähernd richtig angegebenen 1 und 2 Pfundgewichte sinnliche Eindrücke hervorrufen, deren Stärke den objektiven Gewichten irgend wie proportional wäre. Und so ist es bei der Vergleichung der Temperaturgrade; man hat, während die Temperatur zweier zum Vergleich gebotenen Medien in üblichen Skalengraden leidlich genau angegeben werden, keineswegs eine Vorstellung eines bestimmten Intensitätsverhältnisses der beiderseitigen entsprechenden Empfindungen. Eine Salzlösung von doppeltem Gehalt macht keineswegs einen irgend wie numerisch vergleichbaren, geschweige denn noch einmal so starken, Eindruck auf die Zunge, als eine solche von einfachem Gehalt, obschon auch hier wieder der Geübte, der häufig solche Lösungen von bekanntem Gehalt mit der Zunge geprüft hat, den Gehalt in absoluten Werten annähernd zu schätzen im Stande ist, u. s. w.

Dagegen sind die Specialsinne in hohem Grade befähigt, an zwei Sinneseindrücken sowohl die qualitative wie quantitative Gleichheit, also auch eine vorhandene geringe Ungleichheit, als eben noch merklich, erkennen zu können. Je geringer die dem Sinne eben noch merkliche Ungleichheit beider Reize, um so grösser ist das Unterscheidungsvermögen des Sinnes. Diese »Unterschiedsschwelle« wird bekanntlich vielfach auch zu physikalischen Messungen in Anspruch genommen; am Meisten und Erfolgreichsten im Gebiet der Photometrie, und zwar mittelst sehr verschiedener

Methoden und Technicismen. Auch im Gebiete des Geschmacksinnes könnte sie für manche Zwecke eine bequeme praktische Verwendung finden, indem nach den im hiesigen physiologischen Institut gemachten Versuchen von F. Keppler zwei Lösungen von $^1/_{10}$ Unterschied des Gehaltes eben noch von einander unterschieden werden können.

Ausser der Unterschiedsschwelle, deren Bedeutung auf dem akustischen Gebiet im nächsten § erörtert werden soll, lässt sich auch die von Fechner so genannte »Reizschwelle«, d. h. der geringste Intensitätswert eines Sinnesreizes, der eben noch empfunden werden kann, zu Messungen benützen. Die, bisher mit Unrecht vernachlässigte, Verwendung der physiologischen Reizschwelle zu wissenschaftlichen Messungen ist nicht bloss erlaubt, sondern geradezu geboten, wenn wir nicht wichtige Massobjekte der Natur geradezu unberücksichtigt lassen wollen.

Der objektiven Reizschwelle entspricht eine, bei jedem Individuum innerhalb mässig breiter Grenzen schwankende, von der persönlichen Reizbarkeit abhängige, Stärke des Sinnreizes. Mittelst geeigneter Hilfsmittel von bekanntem, objektiv bestimmbarem, Wirkungswert lässt sich jeder Sinnesreiz bis auf die Reizschwelle abschwächen und somit die Stärke des Sinnesreizes aus der gemessenen Abschwächung berechnen.

Die Geschmacksreizschwelle liesse sich mit Vorteil bei Lösungen von intensiv schmeckenden Substanzen verwenden, deren Bestimmung mittelst der Wage oftmals schwierig, ja unmöglich, jedenfalls aber sehr zeitraubend ist. Man hätte die fragliche Lösung so lange zu verdünnen, bis sie aufhört, eine Geschmacksempfindung zu veranlassen. Der Experimentator hätte also durch Vorversuche an Lösungen von bekanntem Gehalt den Punkt ein für allemal annähernd zu bestimmen, bei welchem die fragliche Geschmacksempfindung beginnt, resp. aufhört.

In der Photometrie und quantitativen Spektralanalyse wäre freilich die Inanspruchnahme der Reizschwelle, also die Ermittelung der ersten Spur einer eintretenden Farbenempfindung nicht zu empfehlen. Dieses von Preyer am Spektralapparat wirklich angewandte Verfahren, das an und für sich keine schlechten Resultate ergiebt, kann jedoch in der That keinen Vergleich aushalten mit der Methode, welche auf der Gleichstellung zweier ursprünglich ungleichen Helligkeiten einer und derselben spektralen Farbe beruht.

Immerhin aber dürfte es sich empfehlen, dass man zur Messung

der Intensität des gemischten oder einfachen Lichtes die künstliche Abschwächung desselben (am besten durch Schichten von Rauchgläsern von bekannter Absorptionskraft) bis herab zum Punkt der Reizschwelle unter Umständen ebenfalls in Anwendung ziehen würde.

Für unser akustisches Untersuchungsgebiet bietet, nach den Ausführungen des vorigen §, die Verwendung der Reizschwelle grosse Vorteile als bequemes, schnell ausführbares und relativ zuverlässiges Hilfsmittel der Schallstärkemessung, und darin eben liegt die wissenschaftliche Berechtigung, ja Notwendigkeit der Untersuchungen, die den Hauptgegenstand dieser Schrift bilden. Zudem hat die akustische Reizschwelle, was bei der optischen nicht der Fall ist, eine allgemeine objektive Bedeutung. Sind wir doch im Stande, bei vielen von uns künstlich, vor allem am Phonometer, hergestellten, an der Grenze der Ebenmerklichkeit stehenden, Schallen die objektiven Entstehungsbedingungen genau messen zu können! Der schwächsten Schallempfindung entspricht also ein bestimmtes, genau definierbares, wenn auch vorerst bloss empirisches, zu jedweder wissenschaftlichen und praktischen Verwendung aber brauchbares objektives Mass. Eine der wichtigsten Aufgaben dieser Schrift wird in dem, durch zahlreiche Versuchsreihen herzustellenden Nachweis bestehen, dass — was dem Sachverständigen von vornherein kaum als wahrscheinlich erscheinen möchte — eben dieses Mass vollkommen unabhängig ist von dem Grad und den Schwankungen der individuellen Feinhörigkeit der Beobachter. Aber noch mehr, auch von der Beschaffenheit der schallstärkemessenden Apparate ist das Mass unabhängig, insofern nämlich alle Messungen unter sich dadurch genau verglichen werden können, dass man sie auf ein einheitliches akustisches Empfindlichkeitsmass und auf eine und dieselbe Schallquelle zu reducieren im Stande ist.

---

§ 4. Die Unterscheidungsempfindlichkeit für Schall- und Tonstärken als zweites Hilfsmittel der akustischen Intensitätsmessungen.

Die Leistungen der Unterscheidungsempfindlichkeit für Schall- und Tonstärken haben für uns eine hervorragende Bedeutung, weil

auf ihnen die eine der beiden überhaupt möglichen psychologischen Massmethoden von Schallstärken beruht.

Die ersten Messungen unserer Unterscheidungsempfindlichkeit für Schallstärken sind auf meine Veranlassung von Th. Renz und A. Wolf (Archiv für physiologische Heilkunde 1856, S. 185 und Annalen der Physik XCVIII. S. 595) angestellt worden. Benützt wurde zu allen Versuchen eine und dieselbe schwache Schallquelle, eine Uhr, deren Ticktack mindestens an jedem Versuchstag unbedenklich als gleichstark angenommen werden durfte. Das Festhalten des Kopfes des Hörenden und die unverrückte Stellung des äusseren Gehörganges gegenüber der Schallquelle wurde sorgfältig beobachtet; wegen der bezüglichen Versuchsanordnungen muss ich auf die oben erwähnte Arbeit verweisen. Ebenso genau wurde mit der Abmessung der Entfernung der Uhr von der Mündung des Gehörganges verfahren. Die Beobachtungen wurden abwechselnd von Renz und Wolf angestellt. Man hörte zuerst bei einer bestimmten Entfernung das Ticktack der Uhr je während 5 Sekunden; sodann wurde ein Schirm zwischen Uhr und Ohr eingeschaltet, der das Ticktack für die Versuchsperson zum Verschwinden brachte, der Abstand der Uhr von dem Ohre verkleinert oder vergrössert, der Schirm wieder entfernt und ohne wesentlichen Zeitverlust der Schall der Uhr dem Hörenden wiederum 5 Sekunden geboten: Der Hörende hatte zu entscheiden, welcher der beiden Schalle der stärkere war; die Antworten waren 1) richtig, oder 2) falsch, oder endlich 3) unentschieden. Der eine der Experimentatoren unterschied schärfer, wenn der erstgehörte Schall der stärkere war, die Urteile des zweiten dagegen verhielten sich umgekehrt. Wir haben damals, vor 26 Jahren, der allgemein adoptierten Theorie gemäss annehmen müssen, dass sich die Schallstärken des Ticktacks umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Abstände der Schallquelle von der Mündung des äusseren Gehörganges. Auf diese Weise berechnet, müssen die Leistungen des Hörsinnes bei der Unterscheidung der Schallstärken ungünstiger ausfallen, als sie wirklich sind.

Stärkere Schalle empfinden wir an allen Stellen desselben (mässig geräumigen) Zimmers nahezu gleichstark; bei der von den genannten Experimentatoren benützten Taschenuhr konnte das schwache Ticktack, bei 1 Meter Abstand vom Ohr, schon nicht mehr gehört werden. Für solche ganz schwachen Schalle werden wir richtiger annehmen, dass sie beim Hören aus der Luft abnehmen im einfachen Verhältnis des Abstandes der Schallquelle vom Ohr.

Immerhin gebe ich aber zu, dass die Berechnung der Versuchsresultate nicht auf ganz sicherem Boden steht. Die ohne Zweifel zweckmässigste, jedenfalls populärste, Ausdrucksweise der Leistungsfähigkeit des Sinnes ist die, dass wir angeben, welche geringste procentische Schallstärkedifferenz in allen Fällen ungefähr den Eindruck der Verschiedenheit auf uns macht.

Nach der oben angegebenen ersten Voraussetzung werden Schallstärken, die sich wie 100 : 72 verhalten, in allen Fällen als verschieden erkannt; rechnen wir nach der zweiten Formel, so wäre das Verhältnis = 100 : 82 zu setzen, d. h. 18 % Differenz wird in jedem Einzelfall sicher erkannt.

Später hat Volkmann, wie Fechner in seiner Psychophysik berichtet, ähnliche Versuche mittelst zweier Technicismen angestellt. Er benützte ein Pendel, dessen Hammer gegen eine Glasplatte anschlug. Zunächst wurden zwei Elevationen des Hammers aufgesucht, welche hinreichend unterscheidbare Schalle dem in der Nähe befindlichen Ohr gaben. Aber auch bei 6—12 und 18 Schritten Abstand des Ohres von der Schallquelle (sodass der anfängliche Abstand mindestens verzwölffacht wurde) blieb das Urteil des Beobachters in der Unterscheidung der zwei gebotenen Schallstärken ebenso sicher als in grösster Nähe. Der absolute Unterschied der Schallstärken bei diesen verschiedenen Abständen ist freilich nicht ein etwa 144facher, wie Volkmann annahm; er ist, da es sich um verhältnismässig starke im Zimmer erregte Schalle handelt, sogar noch sehr erheblich geringer, als der Unterschied der einfachen Abstände vom Ohr.

In einer zweiten Versuchsreihe benützte Volkmann Stahlkugeln, die auf eine stählerne Platte herabfielen, wobei sowohl das Gewicht und die Fallhöhe der Kugel, als der Abstand des Beobachters in weiten Grenzen abgeändert wurde. Volkmann kam zu dem Resultat, dass Schallstärken, die sich wie 4 : 3 verhalten, »mit Sicherheit« zu unterscheiden sind, was von den Angaben von Renz und Wolf nicht weit abliegt, wenn wir die Schallstärken der Letzteren nach der älteren unrichtigen Annahme berechnen. Sicherlich hat Volkmann angenommen, dass die Schallstärke der Fallhöhe der Kugel proportional ist, sodass seine Rechnung notwendig zu einer viel geringeren Leistungsfähigkeit des Ohres in der Unterscheidung von Schallstärken kommt, als es thatsächlich der Fall ist.

Eine umfassende experimentelle Arbeit über die Unterscheidungsempfindlichkeit für Schallstärken, die ausserdem den speciellen

Zweck hatte, die Gültigkeit des Fechner'schen Gesetzes auf desem Gebiete zu prüfen, hat vor vier Jahren C. Nörr im hiesigen physiologischen Institut ausgeführt (Zeitschrift für Biologie 1879, XV. S. 297). Derselbe experimentierte an 7 Punkten der Reizintensitätsskala innerhalb breitester Grenzen der Schallstärke, von möglichst schwachen (der Schwellenempfindung ziemlich nahestehenden) Schallen an stufenweise bis zu sehr starken, die dem Ohr bereits lästig werden. Die stärksten Schalle waren erheblich über 600000 mal stärker, als die schwächsten und nahezu eine Million mal stärker als der objektive Schall, welcher eine eben noch merkliche schwächste Hörempfindung veranlasst. Schallquelle war ein viereckige Eisenplatte von 20,4 Cm. Länge, 16,7 Breite, 0,55 Cm. Dicke und 1278 Gramm Gewicht. Gehört wurde aus der Luft, während der Gehörgang durch entsprechende Fixierung des Kopfes des Beobachters in dem constanten Abstand von 50 Cm. von der Aufschlagstelle der Fallkugel auf die Platte und in unverrückter Richtung gegen die Schallquelle gehalten wurde. Als Fallgewichte dienten Bleikugeln verschiedensten Kalibers. Für die beiden schwersten Fallgewichte mussten Eisenkugeln gewählt werden von 98,053 und 1025,100 G. Gewicht, welche, wie ich hier nachträglich und die von Nörr gemachte Schallstärke-Berechnung corrigierend, erwähne, um 80 Procent stärker wirken, als gleiche Gewichte und gleiche Fallhöhen der Bleikugeln, in beiden Fällen dieselbe Phonometertafel (Eisenplatte) voraussetzt.

Renz und Wolf unterschieden Schallstärkedifferenzen von 18 %, (resp. nach der älteren von uns verworfenen Berechnungsweise 28 %) in allen Fällen als ungleich; Nörr unterschied, um mich auf die Endmittel seiner 7 einzelnen Versuchs-Reihen zu beschränken, eine Differenz von 22,33 % in nur 93,1 % aller Fälle als verschieden. Abgesehen von etwaigen individuellen Einflüssen ist aber das ungünstigere Resultat bei Nörr aus der Versuchsmethode zu erklären; bei ihm wurden — was bei Wolf und Renz nicht vorkam — zahlreiche Vexierversuche eingeschaltet, welche die Aufgabe des Beobachters entschieden erschweren. Ich bemerke bei diesem Anlass, dass es bei der Untersuchung der bezüglichen Sinnesleistungen in erster Linie darauf ankommt, Methoden anzuwenden, in welchen die Versuchsbedingungen möglichst präcisiert und genau definiert sind, so dass die Leistungen der absoluten, sowie der Unterscheidungsempfindlichkeit vor Allem auch in % der richtigen Empfindungen angegeben werden müssen. Ausserdem muss für völlige Voraussetzungslosigkeit der

Versuchsperson dadurch gesorgt werden, dass die Stärken (Grössen) der Reize durchaus unregelmässig auf einander folgen und zahlreiche Vexierversuche eingeschaltet werden. Wird die Sinnlichkeit auf diese Probe gestellt, so können die Durchschnittsleistungen selbstverständlich bei Weitem nicht so gut ausfallen, als wenn die Versuche so eingerichtet werden, dass dem Empfindenden in seinem Urteil jeder mögliche Vorschub geleistet wird. Letzteres ist z. B. der Fall, wenn man, wie Tischer verfuhr (Ueber die Unterscheidung von Schallstärken, Diss. Leipzig 1882) vom gut Uebermerklichen (Unterscheidbaren) allmählich in das Untermerkliche (Nichtunterscheidbare) übergeht und dann den Rückweg vom Untermerklichen wieder ins Uebermerkliche nimmt. Schaltet man ausserdem keine Vexierversuche ein, in welchen bei Versuchen über Unterscheidungsempfindlichkeit die 2, mit einander zu vergleichenden, Reize objektiv gleich zu machen sind, oder bei Versuchen über absolute Empfindlichkeit keine Reizung stattfinden darf, so stellt man den Sinn unter so günstige Nebenbedingungen, und giebt der Versuchsperson so wesentliche Anhaltspunkte für die Entscheidungen an die Hand, dass man auf diese Weise die wahren Leistungen der unparteischen Sinnlichkeit nicht ermitteln kann. Tischer kam zu Ergebnissen über die Leistungen des Unterscheidungsvermögens für Schallstärken, welche mit den von Renz und Wolf gefundenen, wie er selbst sagt, »fast identisch« sind, wobei aber, wie nicht übersehen werden darf, die ältere, ursprüngliche Berechnungsweise der Renz-Wolf'schen Versuche zu Grund gelegt ist.

Etwas ganz Anderes ist es, wenn ich die Sinnlichkeit als Instrument benütze, um objektive Messungen anzustellen; jetzt habe ich das Zustandekommen der Urteile möglichst zu begünstigen. Bei der praktischen Anwendung, die ich von der Leistungsfähigkeit des Unterscheidungsvermögens auf dem Gebiet der Schallstärke zu phonometrischen Zwecken mache und auch bestens empfehlen kann, wird deshalb die Verwendung der von Renz und Wolf, sowie von Nörr ausschliesslich benützten Methode der richtigen und falschen Fälle nicht am Platze sein, ganz abgesehen davon, dass bei der enormen Menge der hier sich darbietenden Probleme die erforderliche grosse Anzahl von jeweiligen Einzelmessungen gar nicht aufzutreiben wäre. Dazu kommt noch, dass ich bei diesen Fällen der phonometrischen Messung zwischen zwei gut hörbaren Schallen nicht etwa zu unterscheiden habe, welcher der stärkere ist u. s. w., sondern ich lasse den einen Schall —

was leicht und schnell durchführbar ist — so lang abändern, bis er mir gleichstark erscheint, wie der andere Schall. Diese Aufgabe ist für den Experimentator eine viel günstigere; die Leistungsfähigkeit des Hörsinnes in dieser Richtung muss aber durch eine besondere umfassende Versuchsreihe — die keine technische Schwierigkeiten bieten kann — in Zukunft ermittelt werden; aus den in diesem § mitgeteilten Versuchen von Renz und Wolf, sowie von Nörr, lässt sie sich nicht ohne Weiteres erschliessen.

Die durchschnittlichen Fehler der Einzelversuche bei Unterscheidung der Schallstärken sind somit sehr erheblich; da sie sich aber abwechselnd in's + und — geltend machen, so heben sie sich dei der Wiederholung der Messungen annähernd auf, sodass die Endwerte der Wahrheit ziemlich nahe kommen, und das um so mehr, je grösser die Zahl der Einzelmessungen ist.

---

§ 5. Das Phonometer.

Durch das Aufschlagen von Kugeln, welche auf eine schwingungsfähige Platte herabfallen, lassen sich Schalle von der geringsten, eben noch wahrnehmbaren, bis zu jeder gewünschten Stärke erzeugen. Die Stärke dieser Schalle kann aus den jeweiligen Versuchsbedingungen genau bestimmt werden.

Schafhäutl (über Phonometrie, Abhandlungen der mathematisch-physikal. Classe der bayerischen Akademie der Wissenschaften, VII. Band, S. 501. München 1853) konstruierte einen Apparat (Phonometer), um kleine Kugeln durch eine genaue abmessbare Höhe auf eine wagrechte Glastafel fallen lassen und somit, bei Abänderung der Fallhöhe und des Gewichts des fallenden Körpers, beliebig messbare Schallstärken innerhalb breiter Grenzen herstellen zu können.

Bei Verwendung von Fallkugeln von bestimmtem Material und einer schwingungsfähigen Platte, wiederum von bestimmtem Material, Dimensionen und Gewicht ist die Schallstärke s das Produkt des Gewichtes p der Kugel in den, mit einem bestimmten Exponenten ε versehenen, Fallraum h, also $s = p \cdot h^{\varepsilon}$. (s. § 9.) Demnach lässt sich eine und dieselbe Schallstärke durch sehr verschiedene Combinationen der Kugelgewichte und der Fallhöhen

(Geschwindigkeiten) herstellen. Ausserdem sind die an jedweden, sonst gleich construierten, derartigen Apparaten hervorgebrachten Schallstärken unter sich unmittelbar vergleichbar. Die objektive Berechnung der Schallstärken, unabhängig vom Material der Kugel und der schallenden Platte, wird in § 10 erläutert werden.

Im Verlauf meiner Studien wurde ich zur Verwendung von verschiedenen Phonometern geführt, die unter sich je nach Material, Form und sonstiger Construktion erhebliche Verschiedenheiten boten. Diese Abänderungen waren zunächst veranlasst durch die besonderen Eigentümlichkeiten der jeweils zu lösenden Aufgaben, ausserdem aber auch durch die unabweisbare Forderung, das den Messungen zu Grunde liedende Princip unter mannigfaltigen Abweichungen der Versuchsbedingungen zu prüfen und sicher zu stellen.

Mehrere meiner Phonometer bestehen aus einer schwingungsfähigen Platte und dem Fallapparat. Zu den Anfangsversuchen benützte ich ausschliesslich eine gewöhnliche Schieferschreibtafel; dieselbe ist von einem 25 Mm. breiten und 9 Mm. dicken Rahmen von Tannenholz eingefasst; die freie Schieferoberfläche ist 229 Mm. lang und 157 Mm. breit. Die Dicke der Tafel beträgt 4 Mm.; ihre Unterfläche hat, wenn die Tafel auf den Tisch gelegt wird, von der Tischoberfläche einen Abstand von $2^1/_2$ Mm., so dass die Schwingungen der Tafel nicht beeinträchtigt werden.

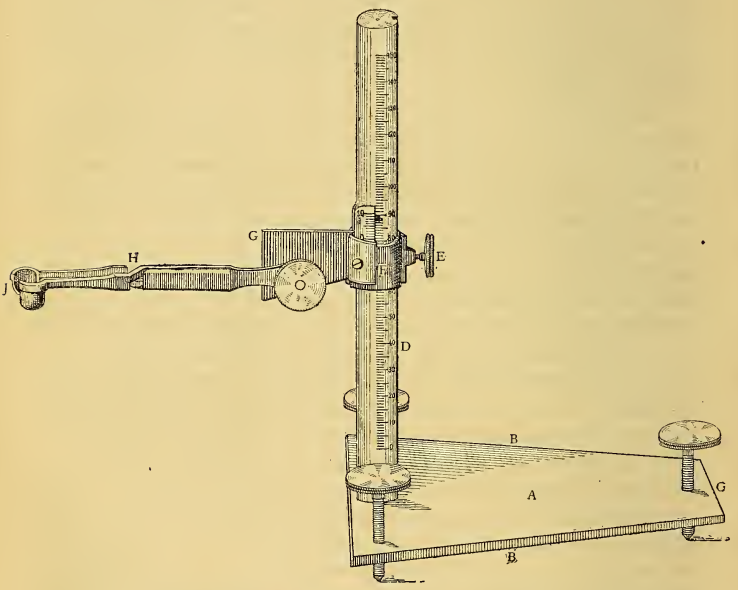
Die Schiefertafel giebt schon bei sehr kleinen Werten von S einen verhältnismässig starken Schall; zur Herstellung sehr schwacher, eben noch hörbarer Schalle wären demnach winzige Fallkügelchen und sehr kleine Fallhöhen erforderlich, was praktisch seine Bedenken hat. Ich habe deshalb in vielen Fällen viel weniger schwingungsfähige Phonometerplatten anwenden müssen; solche von Zinn habe ich besonders brauchbar gefunden. Zu vielen Versuchsreihen dienten 6 schmälere (von 85—86 Mm. Breite) und 6 breitere (von 171—172 Mm. Breite) Zinnplatten, die von gleicher Länge (220—224 Mm.) waren. Je eine schmale und eine breite Platte hatten gleiche Dicke. Die Oberflächen waren möglichst eben.

Gewichte der Zinnplatten in Grammen.

		I	II	III	IV	V	VI
Dicke der Platten in Mm.		4,1	8,2	12,1	15,8	20,2	24,0 Mm.
Gewichte in Gramm	Schmälere Platten	553	1105	1695	2250	2843	3312 Grm.
	Breitere Platten	1139	2406	3281	4469	5718	6718 Grm.

Der Fallapparat (Fig. 3) [1]), welcher bei den meisten Versuchsanordnungen seine Anwendung findet, bei denen der Schall durch eine aufschlagende Kugel erzeugt wird, besteht aus der wagrechten mit 3 Stellschrauben versehenen Messingplatte *A*, deren Längsdurchmesser etwa 14 Cm. beträgt. Die beiden Längsseiten der Platten convergieren gegen einander, so dass die längere (*B*) Breitseite 10, die kleinere (*C*) 4 Cm. lang ist. Eine Dosenlibelle dient zur Wagrechtstellung der Platte *A*. Die Mitte der längeren Breitseite trägt einen senkrechten, etwa 20 Cm. hohen und $1^1/_2$ Cm.

Fig. 3.



dicken, runden Messingstab D, der mit einer Millimeterskala versehen ist. Die 2 Cm. hohe, verschiebbare und mittelst Schraube E stellbare Hülse F trägt an ihrem oberen Rand einen Nonius,

1) Die Einfachheit der phonometrischen Apparate macht Abbildungen fast überflüssig. Ich bemerke ausdrücklich, dass die Einzelteile der Apparate, je nach Bedürfnis, bald mehr bald weniger verkleinert abgebildet sind. Die wirklichen Masse sind immer im Text genau angegeben; auch diese können übrigens in vielen Fällen beliebig abgeändert werden.

der Zehntel des Millimeters abzulesen gestattet. Von der Hülse geht eine wagrechte, 3 Cm. lange und 2 Cm. hohe Messingplatte G ab, auf welcher eine etwa 10 Cm. lange, etwas nach abwärts sich senkende Pincette (H) mit gekreuzten Armen befestigt ist. Für gewisse Fälle und im Interesse der freiesten Verwendung des Apparates ist es empfehlenswert, auf dem Messingstab D zwei Skalen an den gegenüber liegenden Seiten anzubringen und die Hülse F mit zwei entsprechenden Nonien zu versehen.

Das freie Ende jedes Pincettenarmes s. Fig. 3 (Ansicht halb von oben) stellt eine 1/4 Hohlkugel dar, so dass bei geschlossener Pincette eine hohle Halbkugel (J) von etwa 8 Mm. Durchmesser gebildet wird, welche Kugeln bis zu einer für unsere specielle Zwecke nicht mehr erforderlichen Grösse aufnehmen kann. Beim Oeffnen der Pincette (Fig. 3) fällt die im Grund der Hohlkugel liegende Fallkugel auf die darunter liegende Tafel. Die Vorrichtung ist demnach von der Art, dass der Fallkugel vor dem völligen Oeffnen der Pincette auch nicht die geringste Anfangsgeschwindigkeit erteilt wird. Der Fallraum ist also bei sehr kleinen Fallkügelchen scharf bestimmt durch den Abstand des Grundes der Hohlkugel von der Tafel. Die Fallräume aus diesen Zahlen der Skala, d. h. die Abstände des Grundes der Hohlkugel von der Tafel, werden vom oberen Rande der verschiebbaren Hülse, also ziemlich höher als der Grund der Hohlkugel abgelesen. Solcher eben beschriebenen Fallapparate braucht man mindestens zwei, oder wenigstens (s. o.) einen solchen mit doppelter Skala.

Beim Versuch muss die Pincente rasch geöffnet werden, besonders bei etwas grösseren Fallkügelchen, damit dieselben nicht Zeit haben, sich während des Oeffnens etwas zu senken, was den eigentlichen Fallraum ein wenig vermindern würde. Bei grossen Kugeln, die bei unseren speciellen phonometrischen Aufgaben wohl nur ausnahmsweis in Verwendung kommen können, sind die Pincettenarme durch ein Sperrhölzchen derartig offen zu halten, dass nahezu die untere Hälfte der Kugel aus dem Behälter sich herabsenkt, sodass eine schwache Oeffnungsbewegung die Kugel zum Fallen bringt. Vom abgelesenen Fallraum ist dann selbstverständlich der halbe Durchmesser der Kugel in Abzug zu bringen. Für solche Fälle dürfte eine andere Einrichtung der Pincette, welche die eben erwähnte Correktion des Fallraums überflüssig machen würde, zu empfehlen sein.

Als winzigste Gewichte für den Fallversuch wendete Schafhäutl Korkkügelchen an. Wie aber ein solches von etwa 1 Mg.

Gewicht in wirklicher Kugelform hergestellt werden kann, ist schwer begreiflich. Besser ist es, sich der Bleikügelchen zu bedienen. Die geringe Vibrationsfähigkeit des Bleies macht dieses Material besonders tauglich, um zum Stoss für unsere Zwecke verwendet zu werden. Der sogenannte Vogeldunst besteht schon aus sehr kleinen Kügelchen; letztere genügen aber in vielen Fällen noch nicht; um sie noch kleiner zu machen, lege ich sie in verdünnte Salpetersäure, in welcher sie beliebig verkleinert werden können. Bleiben die Kügelchen ruhig in der verdünnten Säure liegen, so bekommen sie während der Gewichtsabnahme manchmal unregelmässige Formen. Durch häufiges Umrühren oder Schütteln der Flüssigkeit lassen sich aber Formen erhalten, die wenig oder gar nicht von der Kugelform abweichen. Vor der Verwendung müssen sie auf ihre Kugelform sowohl mikroskopisch, als durch Rollenlassen auf einer Glastafel geprüft werden. Eckige, oder sonst unregelmässige Kügelchen sind unbedingt zu verwerfen, da ihr Aufschlagen mit ihren spitzen Kanten nicht genau dieselbe Geräuschstärke veranlasst, als das Aufschlagen mit einer abgerundeteren Stelle ihrer Oberfläche. Die mit Salpetersäure behandelten Bleikügelchen müssen von den an ihrer Oberfläche öfters befindlichen kleinen Partikelchen des Bleisalzes durch Hin- und Herrollen zwischen zwei Lagen harten Leders oder Smirgelpapiers sorgfältig gereinigt werden. Nur ganz selten erweist sich ein Bleikügelchen von hinlänglich runder Form als untauglich, indem es einen für sein Gewicht zu schwachen Schall giebt.

Die verschiedenen Kügelchen prüfe ich mit Hilfe zweier Fallapparate in der Art, dass ich mit den zwei leichtesten (von etwas verschiedenem Gewicht) beginne; die beiderseitige Schallstärke, die verhältnismässig stark sein soll, wird gleich gemacht, indem dem leichteren Kügelchen die dazu erforderliche etwas grössere Fallhöhe gegeben wird, was durch Probieren schnell erreicht werden kann. Die zwei gleichstark zu machenden Schalle werden unmittelbar nach einander dem Ohr dargeboten, und hierauf wird das schwerere der so eben benützten Kügelchen mit dem zunächst schwereren verglichen und die paarweise Prüfung der Reihe nach mit sämtlichen Kügelchen nach demselben Verfahren vorgenommen. Ausserdem sind noch eine Anzahl schwererer Kugeln von 10 bis einigen Hundert Mg. Gewicht unter Umständen erforderlich.

Die Bleikügelchen bieten den Vorteil, dass sie (wenigstens bei mässigen Fallhöhen) nach dem Aufschlagen auf die Schieferplatte

ruhig liegen bleiben und somit keinen Anlass zur Entstehung nachträglicher schwächerer Geräusche geben, während die nicht zu empfehlenden Korkkugeln abwechselnd zurückprallen und wieder auf die Tafel aufschlagen.

Ich habe kaum zu bemerken, dass namentlich sehr kleine Kügelchen, trotz aller Sorgfalt, dann und wann während des Experimentierens verloren gehen. Sie lassen sich aber leicht durch neue, wenn auch nicht von genau gleichem Gewicht, ersetzen. Die am häufigsten von mir gebrauchten Gewichte liegen etwa zwischen 2 bis 20 Mg.

Weitere Phonometer werden bei § 7 und anderen Veranlassungen beschrieben.

---

§ 6. Schallconductoren.

Bei meinen Vorarbeiten für die Zwecke der ärztlichen Percussion und Auscultation durften die am Phonometer erzeugten Schalle nicht durch die Luft, sondern nur durch starre Körper, Conductoren von Holz, gehört werden. Das eine Ende des Conductors wird auf das Phonometer aufgesetzt, während das Ohr des Experimentators an das freie Ende des Conductors angedrückt wird.

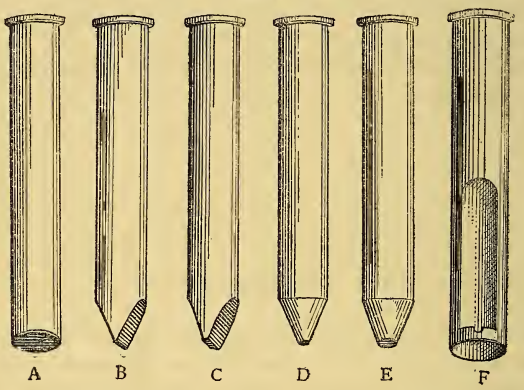
Auch der physikalische Versuch, wenn es sich um die Messung der Schalleitung in starren Körpern u. s. w. handelt, ist in erster Linie wiederum auf die Verwendung von solchen Conductoren angewiesen. Beim medizinischen Auscultieren ist bekanntlich das Holz des Stethoskops das vorzugsweise schalleitende Medium.

Die Conductoren haben, je nach den Versuchsbedingungen verschiedene Formen.

I. Der gerade Conductor. Um die Schalleitung auf möglichst einfache Verhältnisse zurückzuführen, verwende ich keine Hörröhren, sondern massive Conductoren und zwar von Eichenholz. Der Conductor, den ich brauche, ist ein in der Längsrichtung der Holzfaser geschnittener, runder, 102 G. schwerer, Cylinder von 20 Cm. Länge und 3 Cm. Durchmesser, der an einem Ende eine 5 Mm. dicke, ebene Platte von 4 Cm. Durchmesser trägt zum bequemen Anlegen des Ohres; Platte und Cylinder sind

aus einem Stück gefertigt. S. Fig. 4 A. Ich werde später (§ 19) experimentell beweisen, dass der Durchmesser von, aus demselben homogenen Stoff gefertigten, Conductoren innerhalb mässiger Grenzen abgeändert werden kann, ohne dass dadurch die Schallleitung erheblich beeinflusst wird, und dass ferner die verschiedenen Holzsorten in Bezug auf das Schalleitungsvermögen nur so wenig von einander abweichen, dass die betreffenden Unterschiede sogar

Fig. 4.



in der messenden auscultatorischen Praxis wenig in Betracht kommen können (§ 20, 42.) Gleichwohl ist eine Uebereinstimmung in Betreff der Masse und des Materiales des Conductors wünschenswert.

Andere Formen gerader Conducturen, die zur Aufnahme des Schalles aus kleinen Oberflächenteilen starrer Körper und zu sonstigen Zwecken dienen, sind in beistehenden Figuren B, C, abgebildet. Von denselben, sowie den Formen Fig. 4 D, E und F, wird bei passenden Gelegenheiten die Rede sein.

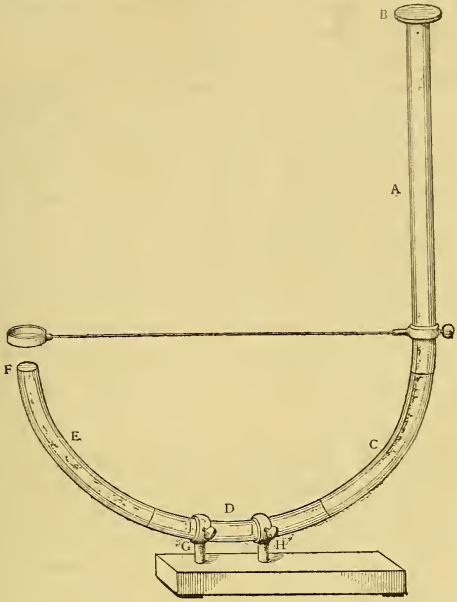
Zur Phonometrie der Herztöne und der auscultatorischen Zeichen überhaupt müssen Conductoren von bestimmten Einrichtungen verwendet werden [1]).

II. Der gekrümmte Conductor. Derselbe wird vorzugsweise an lebenden Menschen zur Messung der Schwächung benutzt, welche der Schall beim Durchgang durch Teile des Körpers erleidet. Um bei mehr oder weniger wagrecht liegenden Körperteilen auch an deren Unterseite bequem auscultieren zu

1) Hermann Vierordt, Intensität der Herztöne, pag. 37.

können, sowie zu noch anderen Zwecken, ist diese zweite Form von Conductoren durchaus nötig.

Fig. 5.



Mein gekrümmter Conductor (s. Fig. 5, deren Einzelteile, je nach Bedarf grösser oder kleiner in der Zeichnung wiedergegeben sind), besteht aus poliertem Buchsbaumholz. Wie beim geraden, so ist auch bei diesem Conductor der Querschnitt rund, der Durchmesser beträgt aber bloss 2 Cm. Eichenholz wäre aus technischen Gründen nicht zu verwenden. Wegen seiner Form musste er aus vier Stücken zusammengesetzt werden, die fest aneinander geschraubt sind. Das senkrechte Stück A ist 25 Cm lang und trägt an seinem oberen Ende B eine Platte von 4 Cm Durchmesser zum Anlegen des auscultierenden Ohres. Die Stücke C, D und E setzen die Krümmung zusammen, deren Halbmesser am inneren Rand des Conductors 14,5 Cm beträgt. Das obere Ende F des Stückes E ist eben; dasselbe dient zur Aufnahme des Schalles; sein Abstand von B beträgt in senkrechter Richtung 22 Cm.

In ein 18 Cm langes, 6 Cm breites und 2 1/2 Cm dickes, viereckiges Stück Eichenholz, das an den schmalen Rändern seiner Unterfläche mit einer Lage von dickem Baumwollbiber überzogen ist, sind 2 Zapfen senkrecht eingelassen, welche jeweils in einen Ring (G, H) übergehen zur Aufnahme des Conductors. Mittelst Schrauben (J J) wird der Conductor festgestellt.

Als Schallquelle diente der, ebenfalls aus Buchsbaumholz verfertigte Recipient (Fig. 6.) Derselbe besteht aus einem oberen, runden Teller q von 3 Cm Durchmesser, auf dessen ebene Fläche das Bleikügelchen fällt, welches den Recipienten in Schwingungen versetzt. Eine 6 Mm hohe, dünne, senkrechte Wand des Tellers hält das herabgefallene Kügelchen zurück. Ein 2 1/2 Cm langer, runder, senkrechter Stiel von 1 Cm Durchmesser verbindet den Teller mit der runden Platte t von 6 Mm Höhe und 2 Cm Durchmesser. Die akustische Dynamie wird an diesem Apparat so bestimmt, dass der Recipient auf das obere Ende F des gekrümmten Conductors gestellt und an dasselbe angedrückt wird; der Recipient empfängt das Fallkügelchen, dessen Fallraum genau bestimmt werden muss.

Fig. 6.

Zur Messung der Schwächung, welche der Schall beim Durchgang durch den zu prüfenden Körperteil erleidet, wird letzterer auf das Ende F des gekrümmten Conductors gelegt, während an die der aufgelegten Körperstelle gegenüberstehende Seite der Recipient angedrückt wird. Um dem bei B auscultierenden Ohr eine eben noch merkliche Hörempfindung zu verschaffen, ist bei irgend dickeren Körperteilen ein bedeutendes S erforderlich. Der Recipient muss auf eine Hautstelle gelegt werden, die der auf p aufgesetzten Hautstelle der andern Seite des Körperteils genau gegenüberliegt, sodass der Schall vom Recipienten auf kürzestem Weg F erreichen kann. Die längs des senkrechten Stückes A des Conductors verschiebbare Hülse (Fig. 5) trägt einen 24 Cm langen horizontalen Stahlstab, an dem ein Holzring von 4 Cm Durchmesser befestigt ist. Eine am Stück A des Conductors angebrachte senkrechte Linie, nebst einer Marke an der Hülse, gestattet die Einstellung des Ringes senkrecht über F, resp. dem Teller q des Recipienten.

Das auskultierende Ohr muss fest an den Conductor angedrückt werden, ebenso der Recipient R an den zu prüfenden Körperteil. Man wird sich leicht überzeugen, dass beim schwachen Andrücken die Schalle schärfer gehört werden. Deshalb sind sämtliche Vorrichtungen, resp. Versuchsanordnungen, bei welchen

dieser Forderung nicht vollständig genügt werden kann, durchaus zu verwerfen; die Messungen würden sonst mit den grössten Fehlern behaftet sein. Von der Verwendung dieses Conductor's wird § 60 die Rede sein.

---

§ 7. Das vereinfachte Phonometer.

Das Phonometer dient an und für sich bloss als Hilfsmittel der akustischen Intensitätsmessung. Um aber diesem Zweck zu genügen, musste seine Leistungsfähigkeit unter verschiedenartigen Abänderungen sowohl seiner Form und seines Materiales, als der sonstigen Nebenbedingungen der Versuchsanordnung geprüft werden. Ausserdem erforderten bestimmte Aufgaben der akustischen Intensitätsmessung besondere Einrichtungen des Phonometers, so dass, wie erwähnt, die Zahl meiner Apparate und der Modifikationen desselben Apparates allmählich erheblich zunahm. Dass die zweckmässigsten Einrichtungen nicht von vornherein gefunden werden konnten, versteht sich von selbst, indem ich mich auf keinerlei experimentelle Vorarbeiten Anderer stützen konnte und sogar in der Stellung der zunächst zu lösenden Frage vielfach unsicher und mir selbst unklar war, was bei der Neuheit der Aufgaben wohl kaum anders sein konnte.

Das beste Phonometer — wenn von einem solchen, gegenüber der grossen Mannigfaltigkeit der Versuchszwecke überhaupt die Rede sein könnte — würde dasjenige sein, welches die einfachste Construction besitzt, aus möglichst gleichartigem Material bestehend, die geringste Zahl von Uebergangswiderständen bietet und deshalb überall in genau gleicher Beschaffenheit herzustellen ist. Auch müsste ein solches zu möglichst verschiedenartigen Aufgaben der akustischen Intensitätsmessungen dienen können.

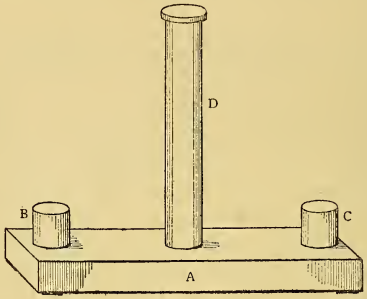
Im Verlauf meiner Arbeit habe ich nun das sogleich zu beschreibende »vereinfachte Phonometer« für viele Zwecke sehr tauglich gefunden.

Der ganze Apparat (Modell I, sowie auch die übrigen Modifikationen) besteht aus Eichenholz. In ein Grundbrett A (Fig. 7) von 26 Cm Länge, 5,8 Cm Breite und (in senkrechten Richtung) 2,9 Cm Dicke (— die bestellten Dimensionen waren 6 und 3 Cm!) sind zwei kleine runde Cylinder B und C von 3 Cm Höhe und

3 Cm Durchmesser mittelst kurzer Zapfen eingelassen und mit Leim befestigt.

Die Cylinder stehen an beiden Schmalseiten je 4 Mm von letzteren entfernt. In die Mitte des Grundbrettes ist ein 20 Cm langer runder Conductor D von 3 Cm Durchmesser, wiederum

Fig. 7.



mittelst eines Zapfens, eingelassen und eingeleimt; das obere Ende des Conductors geht zum bequemen Anlegen des Ohrs in eine Scheibe von 4 Cm Durchmesser und 0,5 Cm Dicke über.

Die drei eingeleimten Zapfen bedingen keine nennenswerten Uebergangswiderstände, so dass der aus 4 Stücken zusammengesetzte Apparat als eine homogene Masse betrachtet werden darf. Die Verbindung der 3 Stücke des Apparates durch Leimen halte ich für besser, als die durch Verschrauben. An den vier Ecken der Unterseite des Grundbrettes sind kleine dreieckige Hölzchen angeleimt und an ihrer Unterfläche mit dünnem Tuch überzogen. Diese Träger sollen einigermassen zur Isolierung des Grundbrettes dienen. Das Gewicht des Phonometers beträgt 451 Gr.

Als Schallquelle benützte ich ein rundes 5 Mm. dickes Plättchen von Eichenholz, von einem Durchmesser von 3 Cm, das wiederum durch die Bleikügelchen des Fallapparates erschüttert wird. Zum Zurückhalten des herabgefallenen Kügelchens ist der Rand des Eichenholzplättchens mit einem abnehmbaren Ring von Papier versehen.

Das Plättchen entspricht demnach der Phonometertafel, der übrige Apparat leistet die Dienste des Conductors der früher beschriebenen Vorrichtungen.

Der Apparat gestattet Messungen des Schalleitungsvermögens starrer Körper unter besonders günstigen Nebenbedingungen. Der

zu messende Körper wird auf den einen Cylinder B gestellt und auf sein oberes Ende das als Schallquelle dienende Eichenholzplättchen gelegt. Der andere Cylinder C findet mannigfaltige, später zu erwähnende, Verwendungen.

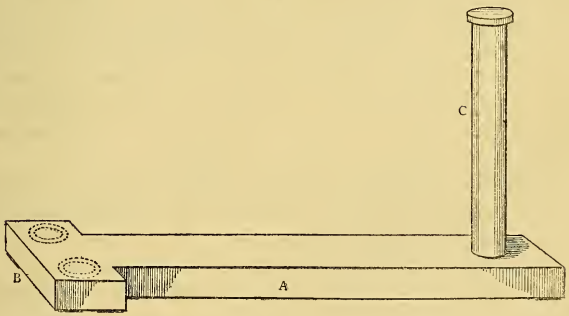
Ausserdem dient der Apparat zum möglichst genauen Vergleichen zweier Schalle von beliebiger Stärke, zu Versuchen über Unterscheidungsempfindlichkeit für Schallstärken, zum Prüfen der Brauchbarkeit der Fallkügelchen u. s. w.

Um Messungen des Schalleitungsvermögens starrer Medien von beliebiger Länge bequemer anstellen zu können, habe ich (in Modell II) später den Apparat in der Art abgeändert, dass die 2 Cylinder B und C einen grösseren Abstand vom Conductor erhielten. Um annähernd das gleiche Gewicht zu erhalten, wie bei dem kleineren Apparat, musste das Grundbrett 36 Cm lang, 5,6 Cm breit und 2,1 Cm dick (in senkrechter Richtung) werden. Das Gewicht betrug 425 Gr.

Um das auscultierende Ohr in eine grössere Entfernung von der Schallquelle zu bringen und aus anderen Gründen benützte ich noch ein drittes Modell des vereinfachten Phonometers. Dieses Modell III möchte ich vor allen zum Gebrauch empfehlen.

Ein 4eckiges Grundbrett A (Fig. 8) von Eichenholz, von 36 Cm Länge, 6 Cm Breite und 2,6 Cm Höhe, geht in ein breiteres

Fig. 8.



Endstück B über von 6 Cm Länge, 12 Cm Breite und wiederum 2,6 Cm Dicke. Die Gesamtlänge des Grundbrettes beträgt somit 42 Cm. In einem Abstand von 3 Cm vom schmalen Ende des Grundbrettes ist in letzteres ein Conductor von den früher beschriebenen Dimensionen mittelst kurzen Zapfens eingelassen

und mit Leim befestigt. Der ganze Apparat, 594 Gr. schwer, besteht bloss aus zwei Stücken; 8 kleine dreieckige und mit Tuch überzogene Hölzchen auf der Unterseite des Grundbrettes dienen zur Isolierung des letzteren.

Auf das breitere Endstück B sind zwei concentrische Paare von Kreisen (von 3 und 4 Durchmesser) genau symmetrisch zur Längsachse des Grundbrettes eingezeichnet. Auf die zwei Kreise werden die mit einander zu vergleichenden Schallkörper und Schalleiter gestellt.

---

§ 8. Das akustische Intensitätsmass.

Die Herstellung von Schallen von beliebiger Stärke mittelst des Phonometers und des später zu beschreibenden Schallpendels (Percussionsinstrumentes) ist eine Hauptaufgabe für die physikalische Schallstärkemessung überhaupt und die messende Percussion und Auscultation insbesondere.

Schafhäutl, dem wir das erste Phonometer verdanken, nahm an, dass die, bei den pag. 26 und 30 beschriebenen Versuchsbedingungen hervorgebrachten, Schallstärken proportional seien 1) dem Gewichte p der auf die schwingungsfähige Platte auffallenden Kugel, und 2) der Wurzel aus der Fallhöhe, oder was dasselbe ist, der einfachen Geschwindigkeit c, welche der fallende Körper beim Aufschlagen hat. Ihm dient also als Ausdruck der Schallstärke, die sogen. »Grösse der Bewegung«, das »Bewegungsmoment« $pc = p\sqrt{2gh}$ des fallenden Körpers.

Fechner (Psychophysik Bd. I, S. 180) dagegen behauptet, und zwar sicherlich im Sinn der bisher bei den Physikern allgemein gültigen Anschauung, dass es sich hier nicht um das »Bewegungsmoment«, sondern ausschliesslich nur um die dem Geschwindigkeitsquadrat, also auch der Fallhöhe, proportionale »lebendige Kraft« des fallenden Körpers handle.

Fechner sagt a. a. O.: »Die Stärke des Schalles steht im zusammengesetzten Verhältnis der Fallhöhe und des Gewichtes des herabfallenden Körpers, insoweit sich der Einfluss des Luftwiderstandes u. s. w. auf die Fallgeschwindigkeit vernachlässigen lässt«.

Die Stärke des Schalles ist (s. Fechner, bei Erörterung der Theorie eines von ihm construierten Schallpendels) proportional dem Quadrat der Schwingungsamplitude des schallenden Körpers, d. h. proportional der Geschwindigkeit, mit der die Teilchen durch ihre Gleichgewichtslage hindurchgehen. Diese aber steht im zusammengesetzten Verhältnis der Geschwindigkeit, mit welcher der fallende Körper auftrifft, und seines Gewichtes. Die Geschwindigkeit, mit welcher der fallende Körper auf eine vibrationsfähige Platte aufschlägt, ist proportional der Wurzel der Fallhöhe, mithin das Quadrat dieser Geschwindigkeit proportional der Fallhöhe; somit ist auch das Quadrat der Geschwindigkeit, mit der sich die Teilchen der vibrierenden Platte aus ihrer Ruhelage entfernen, proportional dieser Fallhöhe (nach der bekannten Formel $c^2 = 2gh$, wo c = Geschwindigkeit, h Fallhöhe, g Acceleration).

Demnach würden sich die Schallstärken 1) bei gleichbleibender Fallhöhe wie die Gewichte der fallenden Kugeln und 2) bei gleichbleibendem Gewicht der fallenden Kugeln wie die Fallhöhen verhalten.

Die physikalische Theorie nahm bisher, so viel ich weiss, als ganz unbeanstandet an, dass, insofern die mit der lebendigen Kraft mc^2 auffallende Kugel notwendig auch die Phonometerplatte mit einer proportionalen lebendigen Kraft erschüttern muss, diese letztere folgerichtig als Mass der Schallstärke zu gelten habe.

Da weder Schafhäutl, noch Fechner die Zulässigkeit ihrer Berechnungsweisen experimentell geprüft oder auch nur eine solche Prüfung für geboten erachtet haben, so stellte ich zur Entscheidung der Frage eine Reihe direkter Experimente an, die zum Teil schon in der Zeitschrift für Biologie, 1878, S. 300 veröffentlicht wurden.

Meine Versuche führten zu dem mir ganz unerwarteten Ergebnis, dass das akustische Mass der Schallstärke nicht durch das Geschwindigkeitsquadrat, sondern annähernd durch die einfache Geschwindigkeit gegeben ist, welche das Fallgewicht im Augenblick seines Aufschlagens auf die schwingungsfähige Platte hat. Die Schallstärke ist somit nicht $p \cdot 2gh$ (Formel I), sondern $p \cdot \sqrt{2gh}$ (Formel II).

Formel II stellt aber, wie Oberbeck später nachgewiesen hat, nur einen genäherten Ausdruck der wahren Schallstärke dar, indem sowohl aus meinen subjektiven, wie den Oberbeck'schen objektiven Versuchen hervorgeht, dass die Schallstärke etwas

schneller wächst, als die Quadratwurzel aus der Fallhöhe, sicherlich aber sehr viel langsamer als die Fallhöhe.

Meine Versuche verteilen sich in mehrere Gruppen. Ich werde dieselben, so unvollkommen, als Erstlinge auf einem schwierigen Gebiete, sie auch sind, wenigstens teilweis hier wiederholen.

I. In einer Reihe von Versuchen stellte ich je zwei Vergleichsschalle her durch Combination eines bestimmten Fallgewichtes p resp. p^1 mit einer bestimmten Fallhöhe h (h^1), so dass jeweils die beiden Produkte ph und p^1h^1 gleich waren. Niemals erhielt ich Schallempfindungen von gleicher Stärke; die durch die doppelte Höhe fallende einfache Masse z. B. gab immer eine sehr merklich schwächere Empfindung, als die durch die einfache Höhe fallende doppelte Masse. Selbst mit sehr schwachen Schallen lassen sich noch beweisende Versuche anstellen; als Beispiel diene die nachfolgende kleine Tabelle:

Tabelle 1.

Erster Schall A				Zweiter Schall B				
Gewicht der Kugel	Fallraum	Schallstärke		Gewicht der Kugel	Fallraum	Schallstärke		
Mg	Mm	ph	pc	Mg	Mm	ph	pc	
7	20	140	4382	3,4	41,2	140	3047	B einwenig schwächer als A
7	20	140	4382	2,4	58,3	140	2555	B ziemlich schwächer
7	20	140	4382	1,6	87,5	140	2096	B erheblich schwächer.

Viel beweisender sind natürlich Versuche mit stärkeren Unterschieden der beiderseitigen p und h; dieselben ph geben dann grosse Unterschiede der Schallstärken. Der nachfolgende Versuch wurde an einer Eisenphonometerplatte angestellt.

Tabelle 2.

	Gewicht der Fallkugel	Fallhöhe	Schallstärke	
	Mg	Mm	ph	pc
a)	1023	10	10230	453189
b)	441,5	23,1	10230	297571

Schall b wurde in wiederholten Versuchen viel schwächer, als der unmittelbar vor oder nach demselben erregte Schall a gehört. Nach der herkömmlichen Ansicht mussten beide Schalle gleich stark empfunden werden (10230 ph); ihre pc sind aber bedeutend verschieden, was die Gehörempfindung leicht bestätigte.

Diese Versuche zeigen unwiderleglich, dass das Produkt ph keineswegs als Mass der Schallstärke gelten kann; sie geben aber

immer nur ein Mehr oder Weniger des Unterschiedes beider Schallstärken und sind deshalb mathematisch nicht weiter verwendbar.

II. Zu einer zweiten Reihe von Versuchen wurden je zwei Vergleichsschalle mit verschiedenen *p* und verschiedenen Geschwindigkeiten *c* der Fallkugeln hergestellt, so zwar, dass die Produkte *pc* immer gleich waren.

Statt vieler durchaus beweisenden und übereinstimmenden Erfahrungen mögen nur 2 Beispiele dienen. Ein 7 Mg schweres Kügelchen fiel 116,2 Mm hoch auf eine Schiefertafel; der Vergleichsschall wurde durch ein 36,5 Mg schweres Kügelchen und den Fallraum 4,3 Mm hergestellt. Beide Schallstärken waren gleich, nur stieg die Empfindung im ersten Fall etwas rascher an, und hörte rascher auf, als beim zweiten Schall. Die *ph* sind demnach 813 und 157, also um mehr als das Fünffache verschieden. Das Ohr erhielt aber, wie erwähnt, gleich starke Empfindungen. Nun sind die den beiden Fallhöhen entsprechenden Geschwindigkeiten 1510 und 290 Mm; die *pc* sind also in beiden Fällen gleich, d. h. 105 700 Mg Mm in runder Zahl.

Die folgenden Versuche wurden an der vorhin erwähnten Eisenplatte ausgeführt.

Tabelle 3.

	Gewicht der Fallkugel	Fallhöhe	Geschwindigkeit der Kugel	Schallstärke	
	Mg	Mm	Mm	pc	ph
a)	1023	10	443	453 189	10 230
b)	441,5	53,7	1026,5	453 199	23 708

Beide Schallstärken boten keinen deutlichen Unterschied; die *ph*-Theorie würde zu einem mehr als doppelten Stärkeunterschied beider Schalle führen!

III. Ich habe, zur weiteren Prüfung, einer gegebenen Schallstärke jeweils eine andere Schallstärke möglichst gleich zu machen gesucht, indem ich den Fallraum einer zweiten, leichteren Kugel so lang abänderte, bis ich die Empfindung der Gleichheit beider Schallstärken hatte.

Eine dieser Versuchsreihen ist in der nachfolgenden Tabelle enthalten. In 6 Versuchen fiel das Gewicht von 56 Mg durch 6 verschiedene Fallhöhen; der Fallraum eines 36,5 Mg schweren Kügelchens wurde so lange abgeändert, bis die entsprechende Schallempfindung dieselbe Stärke hatte, wie der Schall, der durch das 56 Mg schwere Kügelchen hervorgebracht wurde. Die Schallplatte war eine 2400 Gr schwere, 222 Mm lange, 172 Mm breite,

viereckige Zinntafel, die unmittelbar auf den Tisch gelegt wurde; die Schalle wurden, wie auch bei I und II, aus der Luft gehört.

Tabelle 4.

	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	Geschwindigkeit der Fallkugel Mm	*pc*	*ph*	Relative Unterschiede der der a- und b-Werte	
						pc-Reihe	*ph*-Reihe
a)	56	71,2	1180	66 080	3987	0,045	0,284
b)	36,5	152,5	1730	63 145	5566		
a)	56	53,6	1025	57 400	3002	0,090	0,266
b)	36,5	104,2	1430	52 195	3803		
a)	56	35,6	835	46 760	1994	0,141	0,130
b)	36,5	61,6	1100	40 150	2248		
a)	56	17,8	591	33 096	997	0,100	0,145
b)	36,5	34,0	817	29 820	1241		
a)	56	8,9	418	23 408	498	0,102	0,238
b)	36,5	16,9	576	21 024	617		
a)	56	4,5	297	16 632	252	0,010	0,408
b)	36,5	10,4	451	16 461	380		

Die *pc*-Werte der jeweils zusammengehörenden a- und b-Versuche stimmen sehr viel besser mit einander, als die *ph*-Werte, die zum Teil grobe Unterschiede ergeben. Die *pc*-Werte des leichteren Kügelchens sind ohne Ausnahme etwas niederer, als die des schwereren, während sie den letzteren gleich sein oder doch unregelmässig nach beiden Seiten um die Gleichheit schwanken sollten. Diese Erfahrung deutet darauf hin, dass, wie schon oben erwähnt, die Schallstärke etwas schneller wächst, als die Wurzel aus der Fallhöhe, sodass wir statt h, das ungefähr der Quadratwurzel entsprechen würde, einen etwas grösseren Exponenten (ε) einzuführen haben.

---

§ 9. Bestimmung des Exponenten ε der Fallhöhe nach Oberbeck.

Wenn, nach dem vorigen §, eine durch einen Raum h fallende Kugel von dem Gewicht P beim Aufschlagen auf eine schwingungsfähige Unterlage einen Schall oder Ton von bestimmter Stärke hervorbringt, so bedarf eine zweite Kugel von geringerem Gewicht p eines ganz bestimmten, selbstverständlich grösseren, Fallraums H,

um beim Aufschlagen auf dieselbe Schallquelle einen zweiten Schall zu verursachen, welcher genau so stark ist, wie der erste Schall. Durch planmässiges Verändern des zweiten Fallraums ist das dazu erforderliche H von dem Geübten ziemlich schnell gefunden. Vielfach wiederholte Versuche verleihen dem daraus erhaltenen Endwert von H eine genügende Sicherheit.

Man wird bei diesen vergleichenden Experimenten niemals die Erfahrung machen, dass das durch den doppelten Raum herabgefallene einfache Gewicht einen Schall von derselben Stärke giebt, als das durch den einfachen Raum fallende doppelte Gewicht; der erste Schall ist immer sehr viel schwächer, als der zweite, d. h. der Exponent ε der Fallhöhe ist nicht = 1 (wie die Theorie früher annehmen wollte), sondern sehr erheblich unter 1.

Es ist $\varepsilon = \frac{\log \frac{P}{p}}{\log \frac{H}{h}}$, wobei selbstverständlich für die Versuche zu empfehlen ist, dass P in der Regel nicht sehr viel mehr, als doppelt so gross genommen wird, als p. Ich habe übrigens auch mit einem einzelnen $\frac{P}{p} = 2{,}5$ und darüber experimentiert; $\frac{P}{p}$-Werte unter etwa 1,4 sind aus naheliegenden Gründen nicht zu empfehlen. Eingehende Versuchsreihen über den etwaigen Einfluss der Variationen von $\frac{P}{p}$ auf die ε-Werte sind offenbar dringend geboten; es ist mir leider vorerst unmöglich gewesen, so weit abführende Versuchsreihen zu unternehmen.

Oberbeck erhielt, bei Anwendung von Holzplatten als Schallquelle und von Fallkugeln verschiedenen Materiales, die nachfolgenden ε-Werte:

bei Bleikugeln	0,629
» »	0,638
» Steinkugeln	0,656

Meine älteren Versuche in Tabelle 4 (pag. 42) ergaben folgende Resultate im Endmittel. Das Bleikügelchen P war 56, das andere p 36,5 Mg schwer, demnach ist $\frac{P}{p} = 1{,}534$. Das Mittel von $\frac{H}{h}$ ist = 1,989.

Also hat man $\varepsilon = \frac{\log 1{,}534}{\log 1{,}989} = \frac{0{,}18583}{0{,}29863} = 0{,}622$ d. h. nahezu

dasselbe ε wie in Oberbeck's nach ganz andern Principien angestellten Versuchen. Diese Uebereinstimmung ist keineswegs eine zufällige, wie die nachfolgende Versuchsreihe beweist.

In den früheren Versuchen wurde das Unterscheidungsvermögen für Schallstärken in Anspruch genommen; in den nachfolgenden Versuchen, die ich schon im Jahrgang 1881 in der Zeitschr. für Biologie veröffentlicht habe, handelt es sich immer um die Herstellung von Schwellenempfindungen.

Ich unternahm diese Versuche mit um so grösserem Vertrauen, als C. Nörr in seiner oben (pag. 24) erwähnten experimentellen Arbeit, die im Bereich der gesamten Sinnesphysiologie einzig dastehende Thatsache nachgewiesen hatte, dass unser Unterscheidungsvermögen für Schallstärken selbst im Bereiche sehr schwacher, den Schwellenwerten nahestehender, Schalle keine merkliche Minderung erleidet, dass also mit andern Worten auf diesem Gebiet das Fechner'sche Gesetz auch an der untern Grenze der Reizwerte noch als gültig anerkannt werden muss.

Als Fallgewichte dienten zwei Bleikügelchen von 4,35 und 1,58 Mg Gewicht. Aufgabe war, diejenige Fallhöhe zu ermitteln, bei welcher das auf die (in den Versuchen der Tabelle 4 gebrauchte) Zinntafel fallende Kügelchen eine eben noch merkliche Hörempfindung erregte. Jeder Versuch wurde selbstverständlich für sich angestellt, da die Schwellenempfindung zu keiner Vergleichung mit einer andern Schwellenempfindung auffordern kann. Während ich bei den frühern Versuchen den Ton der Zinnplatte aus der Luft hörte, wurde derselbe in der neuen Versuchsreihe durch einen 20 Cm langen massiven Conductor von Eichenholz gehört, dessen unteres Ende auf die Zinnplatte gesetzt wurde, während das Ohr an das obere Ende angedrückt war. Die Versuche verteilten sich auf 7 (in der nachfolgenden Tabelle) mit ihren Ordnungszahlen bezeichnete Tage. Rubrik H giebt die Fallhöhen in Mm für das leichtere, h für das schwerere Fallkügelchen. $\frac{P}{p}$ ist dem Gesagten zufolge constant = 2,753 [log 0,43981].

Tabelle 5.

Tag	H	h	$\frac{H}{h}$	Tag	H	h	$\frac{H}{h}$	Tag	H	h	$\frac{H}{h}$
2	50	12	4,17	5	55	8	6,87	3	35	6	5,83
4	50	12	4,17	5	50	8,5	5,88	6	38	6	6,33
4	50	12	4,17	1	30	7	4,29	5	45	6,5	6,92
6	80	12	6,66	3	30	7	4,29	2	20	5	4,00

Tag	H	h	$\frac{H}{h}$	Tag	H	h	$\frac{H}{h}$	Tag	H	h	$\frac{H}{h}$
5	64	10	6,40	5	35	7	5,00	3	30	5	6,00
5	64	10	6,40	5	35	7	5,00	3	25	5	5,00
5	56	9	6,22	5	33	7	5,00	3	28	5	5,60
5	60	9,5	6,32	6	44	7	6,29	4	30	5	6,00
4	50	8	6,00	6	45	7	6,43	4	28	5	5,60
4	52	8	6,25	7	40	7	5,72	3	25	5,5	4,55
								4	22	3,8	5,79

Das Mittel von $\frac{H}{h}$ sämtlicher 31 Bestimmungen ist 5,585 [log. 0,74702]; also ist $\varepsilon = \frac{0,43981}{0,74702} = 0,589$. Für die 20 Versuche mit h-Werten von 12 bis herab zu 7 Mg ist $\frac{H}{h}$ im Mittel = 5,575, für die 11 Versuche mit h-Werten von 6 bis herab zu 3,8 Mg hat $\frac{H}{h}$ den Mittelwert von 5,602 Unterschiede, die vielleicht auf einen kleinen Nebeneinfluss der Fallhöhen hindeuten.

Das jetzige ε ist also demjenigen meiner früheren, wie dem aus den Oberbeck'schen Versuchen berechneten, ziemlich nahe, während die Bedingungen in den drei Versuchsreihen durchaus, zum Teil sogar principiell, verschieden sind. Zur weiteren Prüfung änderte ich die Bedingungen der Schallerzeugung so eingreifend wie möglich ab:

I. Ein über 7 M langer und über 17 Kg schwerer Cylinder von Buchenholz ging an jedem Ende in ein viereckiges Holzstück über. Auf dem einen der letzteren lag die Zinntafel, die durch Fallkügelchen erschüttet wurde, auf das andere wurde der Conductor aufgesetzt. Der Schall hatte somit einen langen Weg bis in mein Ohr zurückzulegen; die dadurch bedingten Verluste an Schallstärke machten natürlich schwere Fallkügelchen nötig; $\frac{P}{p}$ war $\frac{36,5}{12,6}$ Mg = 2,897 [log 0,46195]. $\frac{H}{h}$ war $\frac{100}{16}$ Mm = 6,25 [log 0,79588]. Also $\varepsilon = \frac{0,46195}{0,79588} = 0,581$.

II. 12 Zinntafeln im Gesamtgewicht von mehr als 35 Kg wurden über einander auf den Versuchstisch gelegt zu einer 17 Cm hohen Schicht. (Bei allen sonstigen Versuchen wurde, wie erwähnt, nur eine Zinntafel von 2406 Gr Gewicht benützt.) Als

Fallkügelchen dienten dieselben wie bei I, also war $\frac{P}{h} = 2{,}897$. Auf das eine Ende der obersten Zinntafel fielen die Fallgewichte, während der Schall durch den auf das andere Ende aufgesetzten Conductor gehört wurde. $\frac{H}{h}$ war $\frac{60}{9} = 6{,}66$ [log 0,82386]. Also $\varepsilon = \frac{0{,}46195}{0{,}82386} = 0{,}560$.

III. Unter die gewöhnlich verwendete Zinntafel wurden 6 Lagen dicken Baumwollbibers gelegt; die Gewichte waren die der Hauptversuchsreihe, also $\frac{P}{p} = \frac{4{,}35}{1{,}58}$ Gr; für $\frac{H}{h}$ wurde gefunden $\frac{50}{7{,}5}$ Mm $= 6{,}66$; also $\varepsilon = \frac{0{,}43981}{0{,}82386} = 0{,}534$.

IV. Um auch mit einer andern Schallquelle zu experimentieren, benützte ich eine gewöhnliche von einem Holzrahmen eingefasste Schieferschreibtafel. $\frac{P}{p}$ war wiederum $\frac{4{,}35}{1{,}58}$; $\frac{H}{h}$ war $\frac{42}{6{,}5} = 6{,}46$, also $\varepsilon = \frac{0{,}43981}{0{,}81023} = 0{,}543$.

Die Versuche I—IV wurden nicht wiederholt angestellt, so dass die bezüglichen ε-Werte nur annähernd richtig sein können. Im Mittel ergibt sich aus I—IV $\varepsilon = 0{,}543$.

In den Versuchen I—IV habe ich die gebräuchlichen Bedingungen bedeutend abgeändert, indem entweder die Leitung des Schalls von der Schallquelle bis ins Ohr (I), oder die Verteilung des Schalls von der Schallquelle aus in die umgebenden Medien (II und III) wesentlich verändert, oder (in IV) eine neue Schallquelle benützt worden ist. In jedem einzelnen dieser Fälle zeigen aber die ε-Werte im Ganzen mässigere Schwankungen, als man von vorn herein erwarten möchte.

In einer in Prof. Wundt's Laboratorium ausgearbeiteten Abhandlung (s. o. pag. 25), behauptet Tischer, dass der Exponent ε sehr bedeutende Schwankungen zeige, zwischen etwa 0,5 bis weit über 1. In meinen zahlreichen, an den verschiedensten Schallquellen angestellten, Versuchen habe ich, unter den allerverschiedensten Versuchsabänderungen und in zahllosen Einzelversuchen, niemals Werte der letzteren Art erhalten.

§ 10. Die Exponenten ε der Fallhöhe beim Hören von Schallen aus der Luft unter Anwendung von Schallquellen und Fallkugeln verschiedenen Materiales.

Wenn zwei Schalle beim Herabfallen einer leichteren Kugel p durch einen grösseren Fallraum H und einer schwereren Kugel P durch einen kleinen Fallraum h auf dieselbe Schallplatte möglichst gleichstark sind, so zwar, dass schon eine kleine Veränderung eines h oder eines H die Gleichheit beider Schallstärken etwas beeinträchtigt, so bleibt doch immer ein gewisser qualitativer und zeitlicher Unterschied in dem Inhalt der beiden entsprechenden Empfindungen übrig. Der Schall der kleinen Kugel ist höher und kürzer dauernd, der der schwereren aber tiefer und ein wenig länger. Eine gehörige Uebung muss zur Ueberzeugung führen, dass der von einer aus grösserer Höhe fallenden kleineren Kugel hervorgerufene Schall, welcher in der Zeit der Vorstudien dem Schall der grösseren Kugel bei bestimmter Fallhöhe unbedenklich gleichgesetzt worden ist, dem geschulten Ohr erheblich dünner und schwächer vorkommt, als der Schall der grösseren Kugel. Jede Erziehung des Sinnes muss mit Notwendigkeit zu einer Minderung der aus den Versuchen erhaltenen ε-Werte führen. Deshalb können die grundlegenden ε-Bestimmungen nicht einer Vielheit wenig erfahrener Beobachter, sondern nur ad hoc vollkommen geübten Experimentatoren anvertraut werden.

Bei den Bestimmungen der ε-Werte dürfen wir uns selbstverständlich nicht mit etwa 2 oder höchstens 3 verschiedenen Fallhöhen begnügen. In den nachfolgenden Versuchsreihen habe ich die P und p, sowie die H und h möglichst zu variieren gesucht. Die Versuche beziehen sich ohne Ausnahme auf das Hören in der Luft, das dem Schall zugewandte Ohr war 50 Cm entfernt von dem Aufschlagspunkt der Fallkugel auf die Schallquelle (vibrationsfähige Platte). Die Manipulationen besorgte mein Institutsdiener Nagel, der seit einer langen Reihe von Jahren bei Experimenten über Unterscheidungsempfindlichkeit in den verschiedenen Sinnesgebieten assistiert und eine Erfahrung in den betreffenden Technicismen gewonnen hatte, die nichts zu wünschen übrig lässt.

Jede Einzelzahl (d. h. $\frac{H}{h}$, resp. ε) der nachfolgenden Tabellen beruht als Mittelwert auf mindestens 4, (häufig aber auf noch

mehr) besonderen Versuchsreihen, die zu verschiedenen Tagen, resp. Tageszeiten, in der Art angestellt wurden, dass in jeder Reihe so lange hin- und herprobiert wurde, bis die 2 Schalle, welche gleiche Stärke erhalten sollten, für die Empfindung gleich stark ausfielen, oder richtiger gesagt (da es sich immer um nicht wegzubringende Qualitätsunterschiede handelt) die unter sich die geringste Empfindungsdifferenz boten, geringer, als die durch ihre Nachbarschalle nach auf- und abwärts erhaltenen Empfindungsdifferenzen. Ein solches Probieren verlangte durchschnittlich etwa 20—30, unter Umständen aber noch mehr Einzelversuche. Mehr als höchstens 20 solcher Versuchsreihen wurden in derselben Versuchsstunde nicht angestellt, um den Sinn nicht zu ermüden. Versuche, die man über mehr als eine Stunde ausgedehnt, werden zunehmend unzuverlässiger.

Die nachfolgenden Versuche habe ich in Wiedemann's Annalen der Physik und Chemie, 1883, Bd. 18, S. 471 bereits bekannt gemacht.

In der ersten Versuchsreihe wurde eine viereckige Zinnplatte von 222 Mm Länge, 172 Mm Breite, 8,2 Mm Dicke und 2406 Gr Gewicht angewandt. Zwischen derselben und dem Tisch lag eine doppelte Schicht von Baumwollbiber, die etwa 2 Mm dick war. Die Fallkugeln waren von Blei. Bloss in den Versuchen ad VIII wurden zur Vergleichung mit den eben erwähnten Versuchsbedingungen auch die Schalle geprüft, welche bei der Lagerung der Platte unmittelbar auf den Tisch entstehen. Im letzeren Falle erhält man leere Schalle, bei der Verwendung der Tuchunterlage aber Töne, deren Höhe ohne Anstand der Messung zugänglich wäre.

Tabelle 6.

Erste Versuchsreihe.

Schallerzeugung durch Herabfallen von Bleikugeln auf eine Zinnplatte.

I) Fallgewichte: P = 180100 Mg, p = 89204 Mg, $\frac{P}{p} = 2{,}019$.

II) Fallgewichte: P = 89304 Mg, p = 45368 Mg, $\frac{P}{p} = 1{,}966$.

Fallhöhe in Millimetern				Fallhöhe in Millimetern			
h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε	h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
5	12,1	2,42	0,795	5	12,1	2,4	0,765
10	26,1	2,61	0,732	10	23,6	2,36	0,787
15	33,7	2,23	0,876	15	38,9	2,59	0,713
20	47,8	2,39	0,806	20	52,3	2,61	0,704
25	60,8	2,43	0,791	25	60,4	2,42	0,765
		Mittel	0,800				M: 0,7468

III) Fallgewichte: P = 45 368 Mg, p = 23 626 Mg, $\frac{P}{p}$ = 1,920 Mg.

Fallhöhe in Millimetern: h der schwereren Kugel	Fallhöhe in Millimetern: H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
5	11,35	2,27	0,796
10	23,9	2,39	0,748
15	36,6	2,51	0,708
20	52,2	2,61	0,680
25	66,9	2,67	9,664
		Mittel	0,7192

IV) Fallgewichte: P = 23 626 Mg, p = 11 096 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,129.

5	14,3	2,86	0,719
10	26,8	2,68	0,760
15	40,9	2,73	0,752
20	53,3	2,66	0,772
25	66,8	2,67	0,760
		M:	0,7495

V) Fallgewichte: P = 11096,5 Mg, p = 4513 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,459.

5	18,5	3,75	0,682
10	35,2	3,52	0,715
15	54,0	3,60	0,702
20	74,0	3,70	0.687
25	94,7	3,79	0,675
30	117,0	3,733	0,683
35	136,1	3,887	0,663
		M:	0,6874

VI) Fallgewichte: P = 4513 Mg, p = 2073 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,277.

5	18	3,60	0,642
10	32,9	3,29	0,691
15	53,1	3,54	0,651
20	75,1	3,75	0,620
25	85,2	3,40	0,672
30	106,9	3,56	0,644
		M:	0,6533

VII) Fallgewichte: P = 2073 Mg, p = 888 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,334.

Fallhöhe in Millimetern: h der schwereren Kugel	Fallhöhe in Millimetern: H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
5	20	4,0	0,611
10	38,4	3,84	0,630
15	60,2	4,01	0,613
20	81,7	4,08	0,603
25	96,0	3,84	0,630
30	111,5	3,83	0,631
		M:	0,6196

VIII) Fallgewichte: P = 613 Mg, p = 295 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,078.

5	18,1	3,62	0,568
10	34,4	3,44	0,592
15	57,6	3,84	0,544
20	74,7	3,73	0,555
25	85,7	3,43	0,593
30	103,8	3,46	0,589
35	120,6	3,446	0,591
		M:	0,5760

IX) Fallgewichte: P = 295 Mg, p = 141 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,092.

10	35,9	3,59	0,577
20	71,5	3,62	0,573
25	89,8	3,57	0,580
30	103,3	3 44	0,597
		M:	0,5817

X) Fallgewichte: P = 141 Mg, p = 74 Mg, $\frac{P}{p}$ = 1,905.

10	31,5	3,15	0,561
15	49,8	3,32	0,537
		M:	0,549

XI) Fallgewichte: P = 74 Mg, p = 36,5 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,028.

5	15,6	3,1	0,625
10	35,0	3,5	0,564
15	50,1	3,34	0,586
20	71,6	3,58	0,554
		M:	0,582

BOSTON MEDICAL LIBRARY DEC 31 1919

In der zweiten Versuchsreihe wurde eine auf dem Tisch unmittelbar aufliegende, viereckige Eisenplatte verwendet, die durch Bleikugeln erschüttert wurde. Die Dimensionen der Platte sind 204, 167 und $5^1/_2$ Millimeter; ihr Gewicht beträgt 1461 Gr.

Tabelle 7.

Zweite Versuchsreihe.

Schallerzeugung durch Herabfallen von Bleikugeln auf eine Eisenplatte.

I) Fallgewichte: P = 351750 Mg, p = 180100 Mg, $\frac{P}{p} = 1{,}953$.

Fallhöhe in Millimetern h der schwereren Kugel	Fallhöhe in Millimetern H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
5	13,9	2,78	0,655
10	27,8	2,78	0,655
15	43,1	2,87	0,635
20	57,9	2,89	0,631
25	68,6	2,74	0,664
		Mittel	0,648

II) Fallgewichte: P = 180100 Mg, p = 89200 Mg, $\frac{P}{p} = 2{,}019$.

5	14,9	2,98	0,643
10	26,9	2,69	0,710
15	44,4	2,96	0,647
20	54,5	2,72	0,702
25	69,2	2,77	0,689
30	77,4	2,58	0,741
		M:	0,688

III) Fallgewichte: P = 45368 Mg, p = 23626 Mg, $\frac{P}{p} = 1{,}920$.

5	17,5	3,5	0,527
10	32,7	3,27	0,556
15	49,8	3,32	0,543
20	62,8	3,14	0,570
25	80,0	3,20	0,561
40	120,3	3,01	0,592
60	184,3	3,07	0,582
80	267,5	3,34	0,541
100	303,9	3,04	0,587
130	398,0	3,06	0,583
		M:	0,564

IV) Fallgewichte: P = 23626 Mg, p = 11096 Mg, $\frac{P}{p} = 2{,}029$.

Fallhöhe in Millimetern h der schwereren Kugel	Fallhöhe in Millimetern H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
10	37,9	3,79	0,567
20	72,6	3,63	0,586
40	154,0	3,85	0,559
60	212,0	3,54	0,598
80	280	3,50	0,599
100	344	3,44	0,611
130	430	3,31	0,629
		M:	0,607

V) Fallgewichte: P = 11096 Mg, p = 4513 Mg, $\frac{P}{p} = 2{,}459$.

5	22,0	4,4	0,607
10	39,3	3,93	0,658
15	65,9	4,39	0,608
20	87,6	4,38	0,609
25	106,8	4,27	0,620
		M:	0,620

VI) Fallgewichte: P = 4513 Mg, p = 2073 Mg, $\frac{P}{p} = 2{,}277$.

5	20,0	4,00	0,592
10	34,9	3,49	0,657
15	51,2	3,41	0,669
20	68,6	3,43	0,666
25	86,6	3,46	0,663
30	100,4	3,35	0,698
		M:	0,657

VII) Fallgewichte: P = 2073 Mg, p = 888 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,334.

Fallhöhe in Millimetern h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
5	19,5	3,90	0,624
10	37,7	3,77	0,639
15	53,4	3,56	0,667
20	69,7	3,48	0,681
25	91,9	3,68	0,651
30	110,9	3,66	0,653
		M:	0,652

VIII) Fallgewichte: P = 295 Mg, p = 141 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,092.

Fallhöhe in Millimetern h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
5	14,2	2,84	0,707
10	29,7	2,97	0,678
15	42,4	2,83	0,709
20	63,8	3,19	0,636
25	82,8	3,31	0,616
30	101,3	3,37	0,607
		M:	0,659

In der dritten Versuchsreihe liess ich Eisenkugeln auf die Eisenplatte fallen, die ebenso, wie in der zweiten Reihe, gelagert war. Es wurde, wie man sieht, mit relativ sehr schweren Eisenkugeln (bis zu 234 Gr) experimentiert. Die schwere Eisenplatte würde leichte Gewichte, die auch nur von mässiger Höhe herabfallen, zu mehrfachem Rückprallen veranlassen. Die Kugel von annähernd 15 Gr begann bei 211 Mm Fallhöhe in sehr geringem Grad zurückzuprallen.

Tabelle 8.

Dritte Versuchsreihe.

Schallerzeugung durch Herabfallen von Eisenkugeln auf eine Eisenplatte.

I) Fallgewichte: P = 29993 Mg, p = 15331 Mg, $\frac{P}{p}$ = 1,956.

Fallhöhe in Millimetern h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
10	33,0	3,30	0,562
20	66,2	3,31	0,561
40	143,5	3,50	0,536
60	211,0	3,51	0,534
			Mittel 0,5482

II) Fallgewichte: P = 119405 Mg, p = 60015 Mg, $\frac{P}{p}$ = 1,989.

10	36,0	3,60	0,552
20	73,6	3,68	0,528
40	150,7	3,77	0,518
60	223,0	3,71	0,525
80	289,5	3,62	0,535
100	356,5	3,56	0,541
120	418,0	3,48	9,551
140	502,0	3,58	0,539
			M: 0,5361

III) Fallgewichte: P = 234000 Mg, p = 119405 Mg, $\frac{P}{p}$ = 1,960.

Fallhöhe in Millimetern: h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
10	33,5	3,35	0,556
20	66,9	3,34	0,558
40	129,5	3,24	0,572
60	203,0	3,38	0,552
80	261,5	3,27	0,568
			M: 0,5612

Bei der vierten Versuchsreihe fielen Eisenkugeln auf eine gewöhnliche Schieferschreibtafel; dieselbe ist von einem 25 Mm breiten und 9 Mm dicken Rahmen von Tannenholz eingefasst. Die freie Schieferoberfläche ist 229 Mm lang und 157 Mm breit. Die Dicke der Tafel beträgt 4 Mm; ihre Unterfläche steht, wenn die Tafel auf den Tisch gelegt wird, von der Tischfläche um $2^1/_2$ Mm ab, so dass die Schwingungen der Tafel nicht beeinträchtigt werden. Schwere Kugeln waren bei dieser Schallquelle von selbst ausgeschlossen.

Tabelle 9.

Vierte Versuchsreihe.

Schallerzeugung durch Herabfallen von Eisenkugeln auf eine Schiefertafel.

I) Fallgewichte: P = 1748 Mg, p = 790 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,213.

Fallhöhe in Millimetern: h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
5	18,9	3,76	0,606
10	36,1	3,61	0,619
		Mittel	0,612

II) Fallgewichte: P = 3170 Mg, p = 1748 Mg, $\frac{P}{p}$ = 1,813.

5	15,2	3,02	0,538
10	27,8	2,78	0,582
20	57,1	2,85	0,568
			M: 0,563

III) Fallgewichte: P = 5463 Mg, p = 3170 Mg, $\frac{P}{p}$ = 1,723.

Fallhöhe in Millimetern: h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
5	13,5	2,50	0,592
10	26,1	2,61	0,567
20	54,0	2,70	0,548
30	79,9	2,66	0,556
			M: 0,566

IV) Fallgewichte: P = 15331 Mg, p = 5463 Mg, $\frac{P}{p}$ = 2,814.

5	32,3	6,46	0,554
10	62,4	6,24	0,565
20	132,6	6,63	0,547
			M: 0,555

Um auch eine nach Form und Material von den übrigen ganz besonders abweichende Schallquelle zu prüfen, benützte ich 2 Cylinder von Tannenholz, die in der Längsrichtung der Fasern gedreht waren. Holzcylinder der Art veranlassen viel weniger ein Rückprallen der Fallkugeln, als wenn dieselben nach der Querrichtung gedreht sind. Jeder der 2 Cylinder wurde jeweils nur von einer Fallkugel erschüttert. Sie waren 11 Cm lang und hatten einen Durchmesser von 5 Cm. Zwischen Tisch und unterem Cylinderende befand sich eine einfache Lage Baumwollbiber. Als Fallkörper dienten grosse Eisenkugeln. Für P = 234000 Mg und p = 119405 Mg, also $\frac{P}{p}$ 1,959 erhielt ich bei 6 verschiedenen Fallhöhen, die zwischen 5 und 40 Mm schwankten, für ε den Mittelwert 0,697; bei dem Gewichtspaare 119405 und 60015 Mg (also $\frac{P}{p}$ = 1,989) war ε im Mittel = 0,739. Die ε der einzelnen Fallhöhen schwankten nur wenig und in keinem einseitigen Sinn. Ich konnte diese Versuche nicht fortsetzen, weil die Anwendung schwacher Gewichte sich von selbst verbot; die Jahresringe stehen nämlich bei diesen Cylindern weit auseinander, und man erhält, wenn zufällig eine Stelle eines Jahresrings getroffen wird, einen deutlich stärkeren Schall, als beim Aufschlagen auf die weichere Zwischenmasse.

Von sonstigen Versuchsreihen will ich nur noch eine hervorheben, die unter besonders abweichenden Versuchsbedingungen ausgeführt worden ist. Als Schallquellen für die beiden Vergleichsschalle dienten zwei kleine vollkommen gleiche runde Zinnscheiben von fast 4 Cm Durchmesser und 42 Gr Gewicht, die neben einander auf den Tisch gelegt wurden. Die Bleikugel P war 23626, p 11045 Mg schwer, also ist $\frac{P}{p}$ = 2,139.

Tabelle 10.

Fallhöhe in Millimetern		$\frac{H}{h}$	ε
h der schwereren Kugel	H der leichteren Kugel		
8	28,3	3,54	0,600
20	75,0	3,77	0,575
40	144,2	3,60	0,593
60	222,0	3,66	0,586
			Mittel: 0,589

In obigen Versuchsreihen wurde für grösstmöglichste qualitative und quantitative Verschiedenheit sowohl der schallenden Platten, als der Fallkugeln gesorgt; auch habe ich teilweise Schallstärken (Fallgewichte und Fallhöhen) zur Beobachtung gebracht, die bedeutend über diejenigen hinausgehen, welche auch bei den weitgehendsten phonometrischen Aufgaben bei der Messung des Schalleitungsvermögens der Körper und der Stärke von gegebenen, in ihren Ursachen nicht messbaren, Schallen irgend noch in Betracht kommen können.

Sämtliche, unter den denkbar verschiedensten Bedingungen angestellte, Versuche beweisen aufs Neue, dass wenigstens bei allen krustischen Apparaten, mit denen wir vorläufig allein messend experimentieren können, ein sehr ansehnlicher Teil der lebendigen Kraft des Anstosses nicht in — man gestatte diesen Ausdruck — akustische Bewegung umgesetzt wird. Der Exponent 1, welcher von der bisher gültigen Theorie gefordert wird, kommt niemals vor; um zur ersten Orientirung beiläufige Mittelwerte aufzustellen, ist das mittlere ε

in	der	ersten	Versuchsreihe	0,660,
»	»	zweiten	»	» 0,633,
»	»	vierten	»	» 0,574,
»	»	dritten	»	» 0,548.

Das Endmittel dieser Exponenten wäre somit 0,6037, eine Zahl, die meiner früheren Angabe 0,59 und den Oberbeck'schen Werten (etwas über 0,6) sehr nahe steht. Eine wirkliche Gleichheit der Exponenten bei verschiedenem Material und verschiedenen Grössen der Schallquellen, sowie bei allen möglichen Variationen des Materiales und der Grösse der Fallkugeln habe ich auch früher nicht annehmen können; wohl aber wird es begreiflich erscheinen, wenn bei der Auswertung der Schallstärken auf dem noch ganz unbekannten Gebiete eine Mittelzahl der Exponenten vorläufig zu Grunde gelegt wurde.

Die erste Versuchsreihe (Erschütterung einer schweren Zinnplatte durch Bleikugeln, deren extremste Gewichtsunterschiede sich auf das Fünfhundertfache belaufen) zeigt die verhältnismässig grössten Differenzen der ε bei den verschiedenen Gewichten. ε ist im Maximum (0,800) bei dem stärksten Gewicht der Bleikugel, von da ab sinkt der Wert von ε, um von P = 613 Mg an bis P = 36 Mg zwischen 0,5820 und 0,549 unregelmässig hin und her zu schwanken. Dass das oben erwähnte Sinken kein genau stetiges ist, versteht sich bei der Schwierigkeit dieser Messungen,

oder, richtiger gesagt, bei der zur genauen Feststellung der Endwerte immer noch nicht hinreichenden Zahl von Einzelmessungen von selbst. Ich darf die Bemerkung nicht unterlassen, dass für die meisten Aufgaben der praktischen Phonometrie bei Anwendung dieser Schallquelle Fallgewichte von 613 bis zu 36 Mg herab vollkommen hinreichen, die, wie aus der Tabelle sich ergiebt, ε-Werte aufweisen, welche, bei relativ beschränkter Anzahl der Versuche, fast nur innerhalb der Grenze der Versuchsfehler sich bewegende Abweichungen bieten.

In der zweiten Versuchsreihe (Erschütterung einer schweren Eisenplatte durch Bleikugeln, deren Gewichte um das Zweitausendfünfhundertfache differierten) stellte sich vom Maximalgewicht an eine Abnahme des ε-Wertes von 0,648 resp. 0,688 bis auf 0,564 und dann wieder eine mässige Zunahme bis auf 0,659 heraus. Der vorläufige Minimalwert 0,564, jenseits welches die ε wieder etwas ansteigen, (irgend ein Nachbargewicht könnte wohl zu einem noch etwas geringeren ε führen) giebt uns in diesem noch so dunkeln Gebiete eine neue Erscheinung, deren Richtigkeit, wie ich glaube, durch eine genügende Zahl von Einzelversuchen garantiert ist. Aber auch hier wieder begegnen wir in derjenigen ziemlich breiten Region mässiger Schallstärken, mit denen wir es allein zu thun haben bei den phonometrischen Messungen, ganz übereinstimmenden ε-Werten:

d. h. für 4,513 bis 2,073 Gramm ist $\varepsilon = 0{,}657$,
2,073 bis 0,888 Gramm ist $\varepsilon = 0{,}652$,
0,295 bis 0,141 Gramm ist $\varepsilon = 0{,}659$.

In der dritten Versuchsreihe (Erschütterung einer Eisenplatte durch schwere Bleikugeln, deren Gewichte bloss um das Fünfzehnfache differieren) haben wir ε-Werte, die so wenig von einander abweichen, dass die Differenzen vorerst (bis die Zahl der Einzelmessungen sich gehörig wird vermehrt haben) vernachlässigt werden können.

In der vierten Versuchsreihe (Erschütterung einer Schieferplatte durch Eisenkugeln) war die Versuchsbreite durch die Beschaffenheit der Schallquelle beschränkt. Fallkugeln über 15 Gramm Gewicht konnte ich nicht verwenden (vielleicht verändern schon die verwendeten schwersten Kugeln das Gefüge der Schieferplatte ein wenig), andererseits konnte mit leichten Kügelchen nicht experimentiert werden, weil sie von der Platte bei auch nur mässigen Fallhöhen zurückgeworfen werden. Mit Ausnahme der schwächsten Fallkugeln ($\varepsilon = 0{,}612$) sind die ε-Werte der übrigen schweren

Kugeln vorläufig so gut wie identisch (0,566 bis zu 0,555) zu betrachten.

Untersuchen wir die zweite Hauptfrage: wie ändert sich der Wert von ε, wenn bei demselben Paar von Fallkugeln die absolute Fallhöhe abgeändert wird? Ich habe mich in der Regel auf Fallräume zwischen 5 bis 30 Mm beschränkt, weil diese allein bei fast allen phonometrischen Messungen in Frage kommen; doch bin ich in einzelnen Versuchsgebieten auch weit hinauf gegangen, bis zu 140 Millimeter.

Man sieht aus den Tabellen, dass mit zunehmenden absoluten Fallhöhen die ε-Werte um mässige Beträge ganz unregelmässig zu- und wieder abnehmen. Nur eine ausserordentlich viel grössere Zahl von Versuchen, als der einzelne Beobachter sie auch beim besten Willen aufbringen kann, wird eine Regel im An- resp. Absteigen der ε-Werte bei Veränderung der absoluten Fallhöhen nachweisen können. Stellen wir die Endmittel der ε-Werte zusammen, welche bei demselben Material der Fallkugeln und derselben Schallplatte an die einzelnen Fallhöhen gebunden sind, so muss natürlich von denjenigen Fallhöhen grossenteils abstrahiert werden, die nicht in sämtlichen Unterreihen der Versuche geprüft wurden. Die Durchsicht der Tabellen wird aber zeigen, dass auch bei extremen Fallhöhen die ε-Werte sich innerhalb der bei den geringeren Fallhöhen gefundenen Grenzen bewegen.

Wir erhalten dann folgende ε-Werte im Endmittel:

(Tabelle II S. 57.)

Aus obigen Erfahrungen folgt: die Stärke der mittelst krustischer Instrumente hervorgebrachten Schalle und Töne lässt sich — nach experimenteller Ermittelung des, für ein bestimmtes Phonometer gültigen, Wertes des Exponenten ε — mit genügender Sicherheit aus den jeweiligen Versuchsbedingungen berechnen. Bei Fallkugeln desselben Materiales und einer schwingungsfähigen Platte von bestimmtem Material und bestimmter Grösse (Gewicht) verändert sich mit zunehmendem Gewicht der Fallkugeln der Wert von ε entweder nur mässig, oder in andern Fällen nicht merklich, während er sich andererseits unter allen Umständen nicht (merklich) verändert bei variablen Fallhöhen. Aber auch in den Fällen, wo der ε-Wert sich etwas ändert mit veränderlichem Gewicht der Fallkugeln, bleibt ε constant innerhalb jener hinlänglich grossen Schwankungsbreite der Gewichte der Fallkugeln, welche allein in Anwendung gezogen zu werden brauchen bei den meisten specielleren Untersuchungen der Phonometrie über das Schalleitungs-

Tabelle II.

Fallhöhe der schwereren Kugel in Millimetern.

	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100	120	140
Erste Versuchsreihe:												
Bleikugeln, Zinnplatte .	0,6733	0,6964	0,6714	0,6596	0,6743	—	—	—	—	—	—	—
Zweite Versuchsreihe:												
Bleikugeln, Eisenplatte .	0,6380	0,6662	0,6558	0,6542	0,6505	0,6747	—	—	—	—	—	—
Dritte Versuchsreihe:												
Eisenkugeln, Eisenplatte .	—	0,5567	—	0,5490	—	—	0,5420	0,5370	0,5515	0,541	0,551	0,539
Vierte Versuchsreihe:												
Eisenkugeln, Schieferplatte	0,561	0,571	—	0,554	—	(0,556)	—	—	—	—	—	—

vermögen der Körper jedweder Aggregatform und über die Stärke derjenigen Schalle, deren Ursprung entweder unbekannt ist, oder deren Bedingungsursachen der Messung wenigstens nicht zugänglich sind. Auf diese letztere Frage, die mich zu weit führen würde, kann und darf ich aber an dieser Stelle noch nicht eingehen.

Meine früheren und jetzigen Versuche sind ausschliesslich zu dem praktischen Zweck angestellt worden, die der Messung der Schallstärken zu Grund liegenden Normen aufzufinden. Von diesem Standpunkt aus braucht das Deficit an akustischer Wirkung bei unsern krustischen Apparaten nicht weiter untersucht zu werden.

Es würde sich hier je nach Umständen, d. h. nach dem Material der Kugel und der Schallplatte, um zum Teil nicht mehr messbare Wirkungen des Aufschlagens der Kugeln handeln: 1) um Temperaturerhöhungen der Fallkugel und der Schallplatte, 2) um bleibende kleine Formveränderungen der weicheren Kugeln, z. B. von Blei, resp. der weicheren Schallplatten z. B. von Zinn an der Aufschlagstelle der Kugeln, 3) um bloss momentane (der Messung übrigens nicht unzugängliche) vorübergehende Formveränderungen der letzteren Art, z. B. von Bleikugeln, 4) um ein öfters vorkommendes Rollen der Kugel von der Aufschlagsfläche aus, 5) um ein einmaliges oder selbst mehrmaliges Rückprallen der Fallkugeln. Versuchsanordnungen, die zu einem stärkeren Rückprall der Kugel führen, sind aber in der praktischen Phonometrie durchaus zu vermeiden.

Anhang.

In der nachfolgenden Versuchsreihe diente die gewöhnlich gebrauchte Schiefertafel als Schallquelle; dieselbe wurde durch Bleikügelchen erschüttert. Die Schalle der Schiefertafel wurden durch den auf die Tafel gestellten Eichenholzconductor dem Ohr zugeleitet.

Tabelle 12.

Gewichte der Kugelpaare in Mg	Fallhöhe der schwereren Kugel = 5 Mm: Fallhöhe der leichteren Kugel in Mm	$\frac{H}{h}$	ε	Fallhöhe der schwereren Kugel = 10 Mm: Fallhöhe der leichteren Kugel in Mm	$\frac{H}{h}$	ε	Mittleres ε
I) $P = 295$ $p = 141$ $\frac{P}{p} = 2{,}092$	17,37	3,474	0,593	32,75	3,275	0,622	0,607

Gewichte der Kugelpaare in Mg	Fallhöhe der schwereren Kugel = 5 Mm: Fallhöhe der leichteren Kugel in Mm	$\frac{H}{h}$	ε	Fallhöhe der schwereren Kugel = 10 Mm: Fallhöhe der leichteren Kugel in Mm	$\frac{H}{h}$	ε	Mittleres ε
II) P = 141 p = 74,0 $\frac{P}{p}$ = 1,905	13,62	2,724	0,643	27,18	2,718	0,644	0,644
III) P = 74 p = 36,5 $\frac{P}{p}$ = 2,028	19,95	3,990	0,519	37,27	3,727	0,537	0,528
IV) P = 25,95 p = 12,6 $\frac{P}{p}$ = 2,060	18,87	3,774	0,544	33,65	3,365	0,595	0,569
V) P = 12,6 p = 4,75 $\frac{P}{p}$ = 2,653	35,7	7,14	0,496	66,60	6,66	0,516	0,506
VI) P = 4,75 p = 2,3 $\frac{P}{p}$ = 2,065	17,33	3,466	0,583	31,70	3,170	0,628	0,605

Auch in diesen Versuchen erscheint ε ziemlich unabhängig von der absoluten Fallhöhe der Kugeln. Der mittlere ε-Wert aus den 6 Reihen ist bei 5 Mm Fallhöhe = 0,552, bei 10 Mm Fallhöhe aber 0,577.

---

§ 11. Die individuelle akustische Dynamie.

Mit den früher beschriebenen Phonometern lassen sich Schalle und Töne von jedweder geforderten Stärke innerhalb breiter Grenzen herstellen.

Nach den in § 8 u. s. f. mitgeteilten Versuchen lässt sich die Stärke jedes an dem Phonometer erzeugten Schalles aus den Ver-

suchsbedingungen d. h. aus dem Gewicht p der Fallkugel und der mit einem bestimmten Exponenten ε versehenen Fallhöhe h berechnen, also durch irgend ein ph^{ε} messend ausdrücken. Die verschiedenen Schallstärkewerte desselben Phonometers sind somit unter sich vergleichbar. Könnten wir jedweden gegebenen sonstigen Schall von beliebigem Timbre mit irgend welcher Schallstärke des Phonometerschalles vergleichen, so wäre der grösste Teil unserer Aufgabe bei der Messung von Schallstärken gelöst. Da letzteres aber nicht möglich ist, so müssen wir auf anderem Weg zum Ziel zu kommen suchen.

Unter sämtlichen, am Phonometer herstellbaren, Schallstärken ist uns diejenige die wichtigste, welche, so schwach wie möglich, einen eben noch merklichen Höreindruck bedingt. Dieser Schwellenwert der Hörempfindung kann nun unter sehr verschiedenen Versuchsbedingungen, welche ihrerseits Stösse der Fallkugel von sehr verschiedener Stärke erfordern, hergestellt werden.

Benützt man das Phonometer und den Conductor allein, so ist der relativ geringste Stoss zur Erzielung der Empfindungsschwelle erforderlich, also ein sehr kleines Fallkügelchen p und eine geringe Fallhöhe h. Wir werden den dem Phonometer mitgeteilten Stoss, der dieser Forderung entspricht, immer mit S bezeichnen. Es kann aber auch jeder Phonometerschall von ursprünglich beliebiger Stärke bis auf den Punkt der Ebenmerklichkeit dadurch abgemindert werden, dass man ihn durch eine entsprechende schallschwächende Schicht α dem Ohr zuführt. Diese zur Ebenmerklichkeit abgeschwächten, ursprünglich viel stärkeren, Schalle sollen mit S_1, S_2 u. s. w. bezeichnet werden. Die durch die Schicht α verursachte Schallschwächung α ist somit $= S_1 - S$.

Daraus folgt ausserdem, dass ein Schall von beliebiger, aber unbekannter, Intensität gemessen werden kann, wenn wir ihn durch eine Schicht von bekannter schallhemmender Wirkung s^1 dem Ohr bis zum Punkt S_1 der Ebennochhörbarkeit abgeschwächt zuführen.

Desgleichen wird die Stärke jedes anderweitigen, nicht am Phonometer selbst erregten, z. B. auskultatorischen, Schalles gemessen werden können, wenn wir ihn durch ein Medium von bekanntem Schallschwächungsvermögen, wiederum auf den Punkt der Ebenmerklichkeit abgemindert, dem Ohr zuführen. Demnach ist dieser ebenmerkliche Schall die Grundlage und der Ausgangspunkt für die gesamte phonometrische Technik; seine Herstellung am Phonometer soll uns in diesem und den nächsten §§ beschäftigen.

Die Evidenz obiger, nur und ausschliesslich nur aus dem Experiment abgeleiteten und nicht ohne Weiteres anzunehmenden — in ihrer Allgemeinheit zudem noch keine messende Verwendung gestattenden — Normen kann erst später bewiesen werden.

Schafhäutl fand, dass der Schall von einem 1 Mg schweren Korkkügelchen, welches durch den Raum von 1 Mm auf die Glastafel seines Phonometers fiel, von ihm und andern Personen beim gewöhnlichen Hören durch die Luft — der Abstand des Ohres von der Schallquelle ist nicht angegeben — eben noch gehört werden konnte. Dabei ist vollkommene Ruhe der Umgebung, Nachtzeit, Windstille u. s. w. erforderlich. Diese geringste, den Sinn noch erregende, Schallstärke bezeichnet er als akustische Dynamie und vergleicht damit die übrigen Schallstärken, hervorgebracht durch Herabfallen derselben oder schwererer Gewichte (Bleikugeln bis zu 10 Gr) durch dieselbe oder grössere Fallhöhen.

Die Bestimmung des an unserem Phonometer eben noch hörbaren schwächsten Schalles braucht für medicinische, und selbst für rein physikalische Zwecke keineswegs bei absoluter Ruhe der Umgebung, wie in den Schafhäutl'schen Versuchen, sondern bloss unter jenen Nebenbedingungen ausgeführt zu werden, welche man beim ärztlichen Auskultieren gewöhnlich fordert, d. h. eine leidliche Ruhe der Umgebung. Uebrigens beeinträchtigt selbst eine etwas grössere äussere Unruhe die Beobachtung keineswegs, insofern das an den Conductor angedrückte Ohr aus der Luft zugeführte fremde Schalle von geringerer Stärke gar nicht hören kann, und selbst das andere, freie Ohr, bei gehöriger Aufmerksamkeit auf den zu auskultierenden Schall von schwächeren fremden Schallen wenig belästigt wird. Auch kann das freie Ohr, wie ich zu thun pflege, mit dem Finger, oder wie schon Perolle bei seinen akustischen Versuchen verfuhr, mit einem gehörig feuchten, zerkauten Papierpfropfen verstopft werden.

Zur Bestimmung der akustischen Dynamie könnte man sich einer Schiefertafel bedienen und zwar, zur Erzielung möglichster Uebereinstimmung der objektiven Versuchsbedingungen, von den § 5 beschriebenen Eigenschaften. Statt dieser allzu schwingungsfähigen Tafel schlage ich, aus dem § 5 angegebenen Grunde, eine Zinntafel von der schon erwähnten Beschaffenheit vor.

Da wir beim Messen der Schallstärke der auskultatorischen Zeichen einen Conductor (§ 6) gebrauchen und diesen unter Umständen auch zur Messung der percutorischen Schalle anwenden, so bestimmen wir die akustische Dynamie nicht mittelst Hörens

des Phonometerplattentones durch die Luft, sondern durch Auscultieren mit dem auf die Platte gestellten Conductor (von Eichenholz).

Der schwächste Phonometerschall, der in dem Beobachter eine eben noch merkliche Schallempfindung verursacht, soll von nun an als individuelle akustische Dynamie bezeichnet und, wie schon früher erwähnt, durch *S* ausgedrückt werden. Dieser »Schwellenwert der Empfindung« kann, wie die Theorie verlangt und der Versuch leicht bestätigt (§ 8), durch verschiedene Combinationen kleiner Fallgewichte und geringer Fallhöhen erreicht werden.

Die Schwelle der Hörempfindung ist an sich sehr inhaltsarm; ihre Dauer ist, bei Anwendung unseres Phonometers, so kurz wie möglich, und nur ganz ausnahmsweis mag es gelingen, an ihr eine gewisse Ungleichheit, d. h. eine Art Abschwellen (vielleicht auch Ansteigen) wahrzunehmen, ohne dass man dann (weil man es mit Contrasten zur vorherigen Nullempfindung zu thun hat) berechtigt wäre, das zwischen beiden kurzen Momenten eingeschobene relative Empfindungsmaximum als wesentlich über dem eigentlichen Schwellenwert liegend betrachten zu dürfen. Auch sind bei solchen Schwellenempfindungen Anklänge an eigentliche Timbreeigenschaften bei Weitem nicht in allen Fällen zu bemerken; eine gewisse Dumpfheit (langsameres An- und Abschwellen) oder Schärfe (schnelleres Anschwellen) des Schalles sind die zwei deutlichsten Eigenschaften dieser Schallempfindung.

Die Methode kann somit auch zur Bestimmung des Grades der Feinhörigkeit Gesunder und Kranker ganz allgemein verwendet werden; je nachdem man den Gehörkranken aus der Luft oder mittelst des massiven Conductors hören lässt, kann auch die gewöhnliche Schalleitung mit der Leitung durch die Kopfknochen verglichen werden.

Ein vorurteilsloser Beobachter könnte diese Versuche am Phonometer zur Not ohne fremde Beihilfe ausführen. Das eine Ohr ist erforderlichenfalls verstopft, das andere wird an den Conductor gedrückt, so dass eine Hand frei bleibt, um die Pincette zu öffnen und das Kügelchen zum Fallen zu bringen. Die Ausführung der dazu erforderlichen kleinen Bewegung und die damit verbundene Abwendung der Aufmerksamkeit könnte allerdings die Perceptionsfähigkeit für den zu suchenden schwächsten Schall etwas beeinträchtigen, um so mehr, als letzterer auftritt, während die

Pincettenarme vom Experimentator noch auseinander gehalten werden müssen.

Viel besser ist es, ja es muss strenge genommen gefordert werden, dass ein Gehilfe das Fallenlassen des Kügelchens besorgt. Der Experimentator ist dann zu absoluter Vorurteilslosigkeit gezwungen, die noch dadurch erhöht wird, dass der Gehilfe öfters Vexierversuche einzuschieben hat, indem er das Kügelchen nicht fallen lässt. Ich gebe einen schwachen kurzen Laut als erstes Commando; der Gehilfe bringt die Finger an die Fallpincette. Dann folgt ein zweiter Laut, der anzeigt, dass die Pincette von jetzt an geöffnet werden darf. Sie soll aber nicht sogleich geöffnet werden, denn das zweite Commando hat den Signalgeber von der ruhigen Beobachtung abgezogen. Die Aufmerksamkeit kann ganz gut und ohne Beschwerde einige Sekunden bis $^1/_3$ Minute und darüber in vollen Anspruch genommen werden. Nahezu gleichzeitig mit dem Aufschlagen des Kügelchens auf die Schiefertafel hat der Experimentator zur Signalisierung der stattgehabten Empfindung mit einem Laut ein Zeichen zu geben. Diese Controlle ist so scharf, dass sogar die oben erwähnten Vexierversuche entbehrt werden könnten. Hat der Experimentator eine Empfindung nicht nahezu gleichzeitig mit dem Aufschlagen des Kügelchens, so ist das als Fehler zu verzeichnen.

Die Aufmerksamkeit kann bei diesen akustischen Versuchen viel besser auf die zu erwartende minimale Empfindung concentriert werden, als das bei anderen Sinnesgebieten der Fall ist. Wie schwer ist es z. B. für den Ungeübten, ja selbst den vielfach Erfahrenen, einem Punkt des indirekten Sehens gegenüber allen übrigen Sehfeldspunkten die Aufmerksamkeit ausschliesslich zuzuwenden. Bei unseren Versuchen werden wir möglichst wenig durch fremde Empfindungen gestört; der empfindungslose Zustand wird bloss unterbrochen durch die sich einstellende Schwellenempfindung. Die Binnengeräusche des Ohres, der Carotisblutstrom u. s. w. werden nur ausnahmsweis lästig; nach kurzer Uebung ist man in Stand gesetzt, von ihnen gänzlich abstrahieren zu können.

Zu einer guten Beobachtung gehört also immer eine strenge Concentration der Aufmerksamkeit; man ertappt sich allerdings bei der Erwartung der Empfindung dann und wann auf irgend einer an ihrem Schwellenpunkt auftauchenden Vorstellung; Versuche der Art sind dann wohl in der Regel fehlerhaft, d. h. man hört ein *s* nicht mehr, das sonst zum *S* erhoben worden wäre.

Ich will nicht vergessen zu bemerken, dass die Teilung der Aufmerksamkeit, im psychophysischen Interesse, zum Gegenstand messender Versuche auch auf unserem Gebiete gemacht werden könnte.

Beim Oeffnen der Pincette zum Zweck des Fallenlassens der Kugel muss der Gehilfe jedes Geräusch sorgfältig vermeiden; es könnten sonst, wenigstens in einzelnen Fällen, Verwechslungen mit dem durch das Aufschlagen der Kugel verursachten Geräusch erfolgen. Lässt man die Pincette, ohne dass in sie vorher eine Kugel gelegt wurde, öffnen, so entsteht bei nur mässiger Behutsamkeit kein Geräusch, welches vom Beobachter etwa gehört werden könnte. Der Gehilfe hat ausserdem nach erfolgtem Fallen der Kugel die Arme der geöffneten Pincette auseinander zu halten, bis der Beobachter sein Urteil über die gehabte Empfindung abgegeben hat, weil das rasche Zusammenklappen der Pincettenarme mit einem Geräusch verbunden ist.

Bei der Bestimmung des individuellen Dynamiewertes S hat sich der Experimentator im Gebiet sowohl des akustisch Uebermerklichen, als des Untermerklichen zu halten, wenn der zu suchende Grenzpunkt möglichst genau ermittelt werden soll.

Mässig übermerkliche Phonometerschalle werden bei nur einiger Aufmerksamkeit ausnahmslos gehört, bei abnehmender Schallstärke kommen, neben den richtigen Fällen (positiven Empfindungen) einzelne zweifelhafte, in denen kein sicheres Urteil abgegeben werden kann, oder negative Fälle, d. h. solche vor, in welchen der Schall nicht gehört wird, bis schliesslich, bei zunehmend schwächeren Schallen, die Zahl der negativen Empfindungen immer mehr überwiegt. Dieses Grenzgebiet hat aber in derselben Versuchsphase gewöhnlich keine grosse Breite.

Dabei wäre selbstverständlich eine sehr grosse Zahl von Versuchen vorausgesetzt; stehen verhältnismässig nur wenige Erfahrungen zu Gebot, so treten einzelne Ausnahmen auf, so dass z. B. auf eine schwächere Schallstärke mehr positive Empfindungen fallen können, als auf den nächsten stärkeren Schall. Wie sich in, aus einer nur mässigen Zahl von Einzelbeobachtungen bestehenden, Versuchsreihen die Fälle verteilen, glaube ich hier nicht an Beispielen erörtern zu müssen; viele auf bestimmte experimentelle Untersuchungen sich beziehenden Tabellen dieser Schrift sind absichtlich so detailliert angelegt, dass der Leser eine Einsicht in diese Verhältnisse gewinnt.

Wer mit der rechnend-experimentellen Methodik, vor Allem

mit den bahnbrechenden Leistungen Fechner's näher bekannt ist, weiss, dass in unserem Fall strenge genommen eine einzige, etwas über dem Schwellenwert liegende Schallstärke, die aber immer noch in einzelnen Fällen nicht gehört wird, zur Bestimmung des akustischen Dynamiewertes hinreichen würde, vorausgesetzt, dass die Zahl der Versuche gross genug ist. Man kann dann aus dem experimentell gefundenen Verhältnis der richtigen (r) zu allen (n) Fällen diejenige Schallstärke berechnen, welche in einer beliebigen % Zahl von Fällen (in 90 %, 95 % u. s. w.) eine positive Empfindung verschafft, nach dem bekannten Princip, dass die Leistungsempfindlichkeit 2 mal, 3 mal u. s. w. so gross ist, wenn eine 2 resp. 3 mal kleinere Reizgrösse (Schallstärke) in derselben % Anzahl von Fällen (also einem und demselben $\frac{r}{n}$) noch wahrgenommen werden kann. Indem man die Ergebnisse der anderen Versuchsreihen an denselben oder an verschiedenen Personen in ähnlicher Weise berechnet, werden die auf diesem Wege gewonnenen Dynamiebestimmungen strenge unter einander vergleichbar.

Ich muss aber hier von diesen exakten Forderungen absehen, weil in den vielen Versuchsreihen dieser Schrift unmöglich die dazu erforderliche grosse Zahl von Einzelmessungen hätte ausgeführt werden können. Die strenge Methode ist in der medicinischen Praxis schon deshalb unanwendbar, weil ein konkretes auscultatorisches Zeichen (das zudem oft genug mit der Zeit u. s. w. sich ändert) unmöglich in einer grossen Anzahl von einzelnen Intensitätsmessungen untersucht werden kann.

Für praktisch-medicinische und vielfach auch für physikalische Zwecke reicht demnach die Bestimmung der individuellen akustischen Dynamie nach der sog. Methode der eben noch merklichen Empfindung vollständig aus. Man beginnt, wie erwähnt, mit einer gut merklichen Schallstärke und vermindert dieselbe allmählich, durch Verkleinerung des Fallraums oder auch durch Verwendung eines leichteren Bleikügelchens (der Vorsicht halber immer unter Einschaltung einer genügenden Zahl von Vexierversuchen) bis zu derjenigen Schallstärke, die fast immer (in etwa 95 % aller Fälle) noch hörbar ist. Ungefähr 30—40, schnell auszuführende, Versuche sind zu diesem Zweck erforderlich; würde man in ähnlicher Weise in ungefähr 10—15 späteren Versuchstagen verfahren, so könnte das Endmittel aus sämtlichen Versuchsreihen

die durchschnittliche individuelle akustische Dynamie mit genügender Sicherheit ergeben.

Wir werden aber später sehen, dass Bestimmungen der Art in der Regel nicht nötig sind; indem es sich z. B. bei ganz exakten Messungen des Schallschwächungsvermögens der Körper immer um mindestens zwei Versuchsanordnungen handelt, also um die Messung eines S und eines S_1. Diese Messungen geschehen aber in regelmässigen Abwechslungen, sodass sie gegen den Einfluss der Schwankungen der individuellen Dynamie geschützt sind.

Die durch S ausgedrückte individuelle akustische Dynamie ist also diejenige Grösse des Stosses, welche unter ganz speciellen Versuchsbedingungen, d. h. an irgend einem Phonometer von beliebiger Construktion, eine eben noch merkliche Hörempfindung veranlasst. Demnach stellt S, wie erwähnt, auch das objektive und vergleichbare Mass der individuellen Feinhörigkeit (Gleichheit der angewandten Phonometer vorausgesetzt) dar. Nach einem bekannten Gesetz der Sinnesphysiologie verhält sich die Reizbarkeit eines Sinnesnerven in verschiedenen Individuen umgekehrt wie die Reizstärke, welche eine Empfindung von derselben Intensität (in unserem Fall also eine eben noch merkliche Empfindung) zu Stande bringt. Verhalten sich z. B. die dazu erforderlichen Reizstärken bei 3 Individuen wie 10 : 2 : 1, so muss sich ihre Reizbarkeit wie $^1/_{10} : ^1/_2 : 1$, resp. wie 1 : 5 : 10 verhalten.

Die eigentliche Bedeutung der individuellen akustischen Dynamie und ihre Beziehungen zur Messung der objektiven Schallstärken kann nicht theoretisch und a priori erschlossen werden. Die nächsten, sowie andere §§ werden sich mit dieser Frage experimentell beschäftigen.

In Bezug auf die Auffindung des Schwellenwertes wurde oben bemerkt, dass ich immer vom gut Uebermerklichen ausgehe, also von grösseren Fallhöhen, unter Umständen auch von schwereren Fallkügelchen. Nachdem man durch Abminderung der objektiven Schallstärke der Grenze des Ebenmerklichen sich genähert und diese ungefähr bestimmt hat, empfiehlt es sich noch, etwas weiter, d. h. ins Untermerkliche, zu gehen, was zur Sicherstellung des Schwellenpunktes dient. Dass letzterer kein Punkt ist, sondern eine gewisse Ausdehnung besitzt, versteht sich von selbst; gute Beobachtungen reducieren aber die »Ausdehnung« des Schwellenpunktes sehr wesentlich. Die Hauptsache ist, dass der Ausgang vom Uebermerklichen an schnell zum Ziel führt und das um so

schneller, wenn man durch vorherige Messungen die Stelle des Schwellenpunktes schon annähernd bestimmt hat.

Würde man mit dem Untermerklichen beginnen, so wäre offenbar der Zeitaufwand meist ein grösserer, bis die Schwelle erreicht wird. Unter allen Umständen empfiehlt es sich also, vom Uebermerklichen auszugehen. Der Uebergang vom Untermerklichen zur Schwelle wird die letztere nicht wohl an demselben absoluten Punkt der Reizskala treffen, wie wenn entgegengesetzt verfahren wird. Ein abwechselndes Bestimmen der Schwelle von beiden Richtungen her, würde dieselbe absolut richtiger finden lassen, und gleichwohl wäre das kein Vorteil, sondern ein Nachteil.

Nach Obigem ist der von der einen oder anderen Richtung aus bestimmte Schwellenpunkt mit einem gewissen, durchschnittlich konstanten Fehler behaftet. Bei den so wichtigen Messungen der Schallschwächung durch leitende Medien wird somit, wenn wir den Leitern der Reihe nach verschiedene Längen geben, der für jede Länge des Leiters gemessene Schwellenwert *Sq*, *Sp* u. s. w. einem gewissen konstanten, Fehler unterliegen. Hat man nun die Schwächung (x) zu bestimmen, welche der Schall durch die Längeneinheit des Leiters erleidet, so muss in den Differenzen *Sp* minus *Sq* je zweier Leiter von ungleicher Länge der konstante Fehler sich von selbst aufheben. Die richtige Bestimmung von x ist somit durch den konstanten Fehler in keiner Weise gefährdet.

---

§ 12. Die Schwankungen der individuellen akustischen Dynamie.

Auch bei vollständiger Gleichheit der objektiven Versuchsbedingungen am Phonometer, also Gleichheit der Phonometerplatte, des Materials des Fallgewichtes u. s. w. ist, wegen der Schwankungen der Sinnesreizbarkeit, nicht zu erwarten, dass ein bestimmtes Fallgewicht und eine bestimmte Fallhöhe innerhalb derselben Versuchsbedingungen oder gar an verschiedenen Versuchstagen in demselben Beobachter immer dieselbe Empfindungsstärke, also auch eine minimale Hörempfindung, errege.

Zunächst handelt es sich um die für unsere Methode wichtige Kenntnis der Schwankungen der individuellen akustischen Dy-

namie, sowie um die Vergleichung der Dynamien verschiedener Personen.

Die nachfolgenden Bestimmungen meiner individuellen Dynamie an der Schiefer-, sowie an der Zinnphonometerplatte wurden im Laufe der vier ersten Monate des Jahres 1878, in meinem 60. Lebensjahre, angestellt. Meine individuelle akustische Dynamie S schwankte in 20 Versuchstagen zwischen 6,19 und 16,59 (ausgedrückt in Milligrammillimetern) des Schieferphonometers; nur einmal wurde ausserdem der Wert von 17,71 S gefunden. Als Mittelwert aus sämtlichen Versuchen innerhalb der genannten Zeit ergab sich 11,24 S. Der Exponent ε von h ist 0,583; die zur Herstellung der Schwelle erforderlichen Fallhöhen betrugen bei den angegebenen S-Werten immer nur wenige Millimeter.

Nach mehr als einjähriger Pause, während welcher Zeit ich auch nicht ein einziges akustisches Experiment angestellt hatte, nahm ich im Februar 1881 die Arbeiten wieder auf. Zunächst bestimmte ich meine akustische Dynamie an der Schieferphonometerplatte in einer einstündigen Versuchsreihe. Das Fallgewicht war 3,1 Mg schwer. Die individuelle Dynamie betrug 9,0 S, ein Wert, der also etwas unter der Durchschnittszahl der 20tägigen Versuchsreihe steht. Wiederum in einer späteren Reihe erhielt ich in 9 Messungen im Endmittel am Schieferphonometer 7,54 S (Maximum 10,39, Minimum 6,20). Ausserdem werden wir später, in freilich immer nur auf jeweils wenigen Einzelmessungen beruhenden Versuchsreihen, S-Werten von 8,37—8,40—7,71 begegnen.

Die an dem gewöhnlich gebrauchten Zinnphonometer (von 2406 Gr Schwere; s. pag. 48) innerhalb eines längeren Zeitraumes in 22 Versuchstagen angestellten Dynamiebestimmungen führten zu S-Werten, die zwischen 8,78 und 18,07 schwankten; das Endmittel beträgt 12,84. Der Exponent ε für h ist für die hier geltenden Versuchsbedingungen (Phonometerplatte und Bleikügelchen von wenigen Mg Gewicht) zu 0,59 bestimmt worden.

In einer andern Periode erhielt ich am Zinnphonometer in 23 Versuchen 16,69 S im Endmittel (Maximum 27,22, Minimum 12,03).

Für die Schwankungen der individuellen Dynamie innerhalb kürzerer Zeiträume werde ich noch zahlreiche weitere gelegentliche Beispiele in späteren §§ mitteilen.

Die Schwankungen der individuellen Dynamie innerhalb desselben Versuchstages (die Messungen erstreckten sich jeweils auf 1 bis 3 Vormittagsstunden, die — ausser nötigen grossen Pausen — zu anderweitigen phonometrischen Messungen verwendet wurden)

mögen noch durch die nachfolgenden Beispiele, die in eine Zeit mit höheren Dynamiewerten (Weihnachtsferien 1881) fielen, erläutert werden. Der Gehörsinn wurde bei diesen Versuchen absichtlich lange und anhaltend angestrengt, viel länger, als ich es mir sonst zur Regel gemacht habe. Schallquelle war die gewöhnlich gebrauchte Zinnphonometerplatte.

Tabelle 13.

		Gewicht des Fallkügelchens Mg	Fallraum Mm	S	
An demselben Vormittage	a	3,5	10	13,6	Beginn der Messungen.
	b	4,35	20	25,4	10 Minuten später.
	c	4,35	10	16,9	18 Min. nach Beginn der Messungen eine $^1/_2$ stündige Pause, in der das Ohr ruhte. Die Messungen von c beginenen also nahezu 1 Stunde nach a.
	d	4,35	15	21,4	20 Min. nach c. 10 Min. nach d beginnt eine Ruhepause von 20 Minuten.
	e	4,35	15	21,4	
	f	4,35	18	23,9	12 Minuten nach e.
	g	4,35	18	23,9	20 Minuten nach e.
	h	4,35	10	16,9	Zwischen g und h eine Ruhepause von 15 Minuten.
An demselben Vormittage	a^1	4,75	12	20,5	Vor a^1 8 anderweitige Messungen.
	b^1	4,75	13	21,5	8 Minuten nach a^1; hierauf Ruhepause von $^1/_4$ Stunde.
	c^1	4,75	14	22,5	
	d^1	4,75	16	24,3	10 Minuten nach c^1. Nach d^1 beginnt eine Pause.
	e^1	4,75	8	16,2	
	a^2	4,75	8	16,2	In je $^1/_4$ stündigen Intervallen; die ganze Zeit zwischen a^2 und b^4 wurden unausgesetzt Messungen ausgeführt.
	b^2	4,75	10	18,9	
	b^3	4,75	10	18,9	
	b^4	4,75	10	18,9	

	Gewicht des Fallkügelchens Mg	Fallraum Mm	S	
a^4	4,75	4	10,76	
b^4	4,75	8,5	16,78	9 Min. nach a^4. In der Zwischenzeit ohne Unterbrechung Messungen ausgeführt.
c^4	4,75	8	16,23	Ebenso; c^4 folgte aber 15 Minuten nach b^4.
d^4	4,75	5	12,28	Nach einer Ruhepause von $^3/_4$Stunde.
e^4	4,75	8,5	16,78	10 Min. nach d^4; in der Zwischenzeit verschiedene anstrengende Messungen.
f^4	4,75	8,0	16,23	10 Minnten nach e^4.
g^4	4,75	6	13,66	Nach einer $^1/_2$ stündigen Ruhepause.
g^5	4,75	6	13,66	Zwischen g^4 und g^5 12 Minuten lang fortgesetzte anstrengende Messungen.

Aus meinen Erfahrungen folgt:

1) Bei Normalhörenden zeigt die akustische Dynamie (an den gewöhnlichen, nicht sehr massigen Phonometern gemessen) sehr niedrige Werte; dieselben sind klein im Vergleich zu nicht wenigen auscultatorischen, geschweige percutorischen, Geräuschen.

2) Die Hörschärfe wechselt innerhalb derselben längeren Periode bei demselben Menschen von einem Tag zum andern. Diese Unterschiede sind aber unerwartet gering; die individuelle Hörschärfe bewegt sich also innerhalb enger Grenzen.

3) Innerhalb desselben Tages zeigt — wenigstens bei dem Geübten — die akustische Dynamie am Beginn der Versuche den geringsten Wert, d. h. die Feinhörigkeit ist am grössten. Bald aber wird der Sinn abgestumpft, um im weitern Verlauf der Versuche nur wenig zu schwanken.

Die nachfolgenden Dynamiebestimmungen wurden an 5 aufeinander folgenden Tagen von meinem Sohn, Hermann Vierordt, angestellt. Eine irgend nennenswerte specielle Vorübung der (mit der medicinischen Auscultation übrigens viel beschäftigten) Versuchsperson war nicht vorangegangen.

Als Phonometerplatte diente die Schiefertafel, alle andern Versuchsbedingungen waren, wie oben geschildert. Auscultiert wurde

mit dem linken Ohr. Die Zahlen der Tabellenrubriken: »Richtig«, »zweifelhaft« u. s. w. bedeuten die absoluten Zahlen der einzelnen Fälle; auch sind die Versuche jedes Einzeltages in ihrer Zeitfolge aufgeführt und ist die Tabelle überhaupt so angelegt, dass die bei einer beschränkten Zahl von Einzelversuchen sich geltend machenden Schwankungen und Unregelmässigkeiten des Urteils zum deutlichen Ausdrucke kommen.

Es handelt sich, wie man sieht, in dieser Tabelle nicht bloss um die wirklichen Schwellenwerte S, sondern auch um stark übermerkliche, resp. untermerkliche, Schalle; daher hat die dritte Vertikalrubrik nicht die Ueberschrift S, sondern s.

Tabelle 14.

Bestimmung der akustischen Dynamie von Dr. Hermann Vierordt.

	Gewicht des Fallkügelchens Mg	Fallhöhe Mm	s	Zahl der Fälle					
				Richtig	Zweifelhaft	Falsch	Vexierversuche		
							richtig	zweifelhaft	falsch
Tag 1.	4,18	30	31,10	2			1		
	»	10	16,26	2			1		
	1,6	20	9,37	2			2		
	»	15	7,90	2			1		
	»	12	6,93	10	1	3	2		
	»	10	6,22	13		5	3		
	»	8	5,46	11			2		
	»	4	3,60	6		6	—		
	»	2	2,41	11			4		
Tag 2. (Kopfschmerzen)	0,5	25	3,32	5	1	1			2
	»	45	4,72	5				4	
	»	40	4,40	8	1			3	
	»	35	4,07	4				2	
	»	25	3,32	8				1	
	»	20	2,93	5				4	
	»	16	2,56	4				2	
	»	15	2,47	3				—	
	»	13	2,27	2				1	
	»	10	1,94	4				1	
	»	8	1,70	3				1	
	»	7	1,57	8			2	4	
	»	6	1,44	5				1	
	»	5	1,29	8			6	1	
	»	4	1,13	1			5		

	Gewicht des Fallkügelchens Mg	Fallhöhe Mm	s	Zahl der Fälle					
				Richtig	Zweifelhaft	Falsch	Vexierversuche		
							richtig	zweifelhaft	falsch
Tag 3.	0,5	25	3,32	9	1	1	1		
	»	20	2,93	7	1	1	1		
	»	17	2,66	4			2		
	»	15	2,47	3					
	»	13	2,27	5			1		
	»	10	1,94	3		2	1	1	
	»	8	1,70	4		5	3		
	»	7	1,57	1		5			
Tag 4.	0,5	10	1,94	11		6	2		
	»	8	1,70	7			2		
	»	7	1,57	8	1	1	2		
	»	6	1,44	5		9	1	1	1
Tag 5.	0,5	15	2,47	9		5	1		
	»	10	1,94	1		7			1

Aus Tabelle 14 folgt:

1) Die akustische Dynamie bietet in jungen Jahren einen sehr geringen Intensitätswert; derselbe ist etwa 3 mal kleiner, als der bei mir gefundene. Ein solcher Einfluss des Lebensalters innerhalb vollkommen normaler Verhältnisse war zu erwarten, wenn auch kaum in der gefundenen Grösse.

2) Die Anfangsbestimmungen in den einzelnen Versuchstagen bieten (bei dem Mindergeübten) weniger günstige Resultate, schnell aber accommodiert sich der Sinn an seine Aufgabe, so dass dann viel schwächere Schalle, als anfänglich, unbeanstandet gehört werden. Bei dem in unseren Versuchen speciell Geübten verhält es sich, wie oben erwähnt, umgekehrt, indem die Hörschärfe im Verlauf der Versuche abnimmt.

Daraus geht die dringende Regel hervor, namentlich bei wenig Geübten die jeweils ersten Dynamiebestimmungen nicht zu berücksichtigen, oder noch besser, die Anfangsschalle so stark zu machen, dass sie mit Sicherheit gehört werden können.

3) Die grosse Hörschärfe des Geprüften führte mich vom zweiten Versuchstag an zur Benützung eines sehr kleinen, bloss $^1/_2$ Mg schweren, Fallkügelchens. Die Schwierigkeiten, ein solches gehörig zu handhaben, und andere Ursachen widerraten aber die Verwendung von Bleikügelchen so kleinen Kalibers.

4) Die Werte der akustischen Dynamie (am Schieferphonometer) sind:

1. Tag etwa 7,9,
2. » » 3,4,
3. » » 4,5,
4. » » 3,4.

Der erste Tag kann als Vorversuchstag gelten; am fünften Tag war die Disposition zum Scharfhören beeinträchtigt, so dass auf weitere Versuche alsbald verzichtet wurde.

Um ein völlig ungeübtes Ohr zu prüfen, stellte ich die nachfolgenden Versuche an meinem 44 Jahre alten Institutsdiener Nagel an. Die erste Versuchsreihe des ersten Tags diente bloss zum vorläufigen Probieren. Diese wenigen Versuche wurden übrigens nicht zur Feststellung der akustischen Dynamie der Versuchsperson, sondern zur ungefähren Prüfung eines Ohrs, welches bisher noch niemals den Schallconductor oder ein Stethoskop angelegt hatte, ausgeführt. Es kam kein einziger misslungener Vexierversuch vor! In allen diesen Fällen wurde somit richtig erkannt, wenn kein Geräusch stattgefunden hatte. Angewandt wurde wiederum die Schieferphonometertafel.

Tabelle 15.

	Gewicht des Fallkügelchens Mg	Fallhöhe Mm	s	Zahl der Fälle			
				Richtig	Zweifelhaft	Falsch	Vexierversuche richtig
1. Tag (a)	3,7	10	14,39	5			1
	»	8	12,61	5	1	2	4
	»	7	11,65	4			2
	»	6	10,65	8	1	3	2
	»	5	9,54	4	1		1
	»	3	7,07	5			1
1. Tag: etwas später (b)	1,6	10	6,22	2			1
	»	8	5,46	3			
	»	7	5,34	5		4	
	»	6	4,60	4		1	1
	»	5	4,13	3			
	»	4	3,60	2	1		1
	»	1	1,60	4	1	3	
2. Tag (c)	1,6	19,5	9,23	3	1	2	
	»	18,5	8,94	4		2	
	»	15	7,90	2	1	3	

Wegen der, im Hinblick auf ihre rechnende Verwendung zwar nur mässigen, Schwankungen, welche die Werte von s, resp. S, bei demselben Beobachter von einem Tag zum andern zeigen, thut man am besten, den jeweiligen Wert S, was sich schnell ausführen lässt, immer wieder besonders zu bestimmen.

In vielen Versuchsreihen dieser Schrift habe ich deshalb sowohl vor, als während der Versuche eine Anzahl (je nach Umständen 10—30) von Bestimmungen meiner jeweiligen akustischen Dynamie gemacht und die Messungen, um die es sich eben handelte, auf den gleichzeitig gefundenen Dynamiewert bezogen.

Beiläufige Bestimmungen der akustischen Dynamie habe ich auch an einigen Studierenden angestellt. Die Vexierversuche mit eingerechnet, wurden an jeder Person bloss je 10—22 Fallversuche gemacht. Das Gewicht des Fallkügelchens betrug immer 1,3 Mg. Als Schallquelle diente die Schiefertafel. Die S-Werte waren bei R. = 5,0, bei W. und S. = 5,3, bei L. wiederum 5,0. Letzterer zeigte bei den ersten Proben ungünstige Resultate, adaptierte sich dann aber schnell zu normalen Leisungen. Diese, nur oberflächlich geprüften, Versuchspersonen stehen somit in ihren Leistungen hinter der in Tabelle 14 erwähnten nur wenig zurück.

---

§ 13. Vergleichung der akustischen Dynamie beider Ohren.

Mehrere Jahre hindurch war ich mit phonometrischen Studien beschäftigt, ohne die Leistungsfähigkeit meines rechten und linken Ohres vergleichend zu prüfen. Sämtliche Messungen führte ich mit Hilfe des rechten Ohres aus, und hatte, da es sich ganz vorzugsweise um die Gewinnung richtiger Massmethoden handelte, keine Veranlassung, auf die vergleichende Prüfung beider Gehörorgane, so wichtig dieselbe in physiologischer und otiatrischer Hinsicht auch sein mag, einzugehen. Die Leistungsfähigkeit des rechten Ohres genügte mir vollkommen. Die Veranlassung zur ausschliesslichen Verwendung desselben lag darin, dass es für mich am bequemsten ist, wenn ich den Conductor an das rechte

Ohr anlege, denselben mit der rechten Hand festhalte und, bei der (in der Regel) senkrechten Stellung des Conductors, den Kopf gegen die rechte Schulter neige. Ausserdem versteht es sich ja von selbst, dass bei ausschliesslicher Verwendung eines und desselben Ohres zu allen Messungen die Einzelmessungen unter sich vergleichbarer sein müssen, als wenn man mit beiden Ohren wechselt.

Als ich eine Versuchsreihe begann, in welcher ein und derselbe Schall beiden Ohren gleichzeitig durch die von zwei schwach gekrümmten und genau gleichen, offenen Röhren begrenzte Luft zugeleitet werden musste, bemerkte ich schon bei dem ersten Versuch, dass mein linkes Ohr eine sehr viel kleinere akustische Dynamie darbot, als das rechte. Als Schallquelle dienten der später (§ 48) zu erwähnende Elfenbeinrecipient und Bleikügelchen.

Abwechselnd wurde das rechte und linke Ohr dicht an das eine Ende einer der gekrümmten Röhren gebracht, während der Elfenbeinrecipient jeweils 4,5 Cm von der Achse des anderen Endes abstand. Der Exponent ε der Fallhöhe war für die speciellen Versuchsbedingungen zu 0,60 bestimmt worden. Das Fallgewicht betrug in allen Versuchen 8,75 Mg. Die Schwellenempfindung trat bei dieser speciellen Versuchsanordnung ein: 1) im linken Ohr bei 2,5 Mm Fallhöhe, also ist $S = 15{,}16$; im rechten Ohr erst bei 39 Mm Fallhöhe, also hat man $S = 78{,}82$; beide Werte als Endmittel mehrerer Versuche. Bei Anwendung des anderen gekrümmten Rohres war linkerseits S wiederum = 15,16; rechterseits (bei bloss 30 Mm Fallhöhe) aber 67,30. Da bei Verwendung des linken Ohres beide S-Werte gleichblieben unter Benützung beider Röhren, so kann auf Gleichheit der Beschaffenheit geschlossen werden; der Unterschied der S-Werte für das rechte Ohr liegt offenbar in zufälligen Schwankungen der Gehörschärfe. Demnach reicht für mein linkes Ohr, unter den gegebenen Versuchsbedingungen, eine nahezu 5 (genau 4,8) mal schwächere Schallstärke hin, um eine Schwellenempfindung auszulösen, als rechterseits erforderlich ist.

In diesen Versuchen wurden, wie erwähnt, die Schalle aus der Luft gehört. In den nachfolgenden benützte ich den Eichenholzconductor, der auf die gewöhnlich gebrauchte Zinnphonometerplatte gestellt wurde, der Schall wurde somit von der Schallquelle durch ein starres Medium dem Ohr zugeleitet. Das Fallkügelchen war 3,0 Mg schwer; am rechten Ohr musste die Fallhöhe 11, am linken aber 19 Mm betragen, um Schwellenempfindungen auszu-

lösen; demnach waren die betreffenden Schallstärken S (Exponent $\varepsilon = 0{,}59$) 12,3 rechts und 17,04 links.

Aus diesen Erfahrungen folgt:

1) beim Hören aus der Luft ist mein linkes Ohr viel feinhöriger als das rechte.

2) Beim Hören aus einem auf das Ohr aufgesetzten starren Körper verhält es sich umgekehrt, indem die Leistung des rechten Ohres etwas grösser ist, als die des linken.

3) Der Unterschied der beiderseitigen Leistungen kann somit unmöglich von einer verschiedenen Reaktionsweise des nervösen Hörapparates abhängen, sondern nur von Verschiedenheiten der Leitungsbedingungen rechts und links.

4) Schwingungen der Luft gehen linkerseits viel leichter auf mein Trommelfell über, während mein rechtes Trommelfell Schwingungen starrer Körper, die an das Ohr angedrückt werden, besser aufnimmt.

Die speciellen Leitungswege im letzteren Fall sind freilich nicht so sicher bekannt, wie unter den ganz zweifellosen Versuchsbedingungen des ersten Falles.

Eine befriedigende Bestimmung der Hörschärfe beider Ohren an möglichst vielen Individuen wird wohl noch lange auf sich warten lassen. Schwellenversuche, die bei Ungeübten nur einen geringen Wert haben können, möchte ich zu diesem Zweck viel weniger empfehlen, als die freilich nicht für Alle gar so leichte Vergleichung von mässig gut merklichen, aber objektiv verschieden starken, Schallen, die bei verschiedener Hörschärfe beiderseits die zugehörigen Gehörorgane zu gleichstarken Empfindungen veranlassen würden. Die Abschliessung jeweils eines Ohres gegen den für das andere Ohr bestimmten Schall lässt sich leicht herstellen. Ich möchte übrigens vermuten, dass bei der ausserordentlichen Subtilität der Schalleitungsbedingungen beim Hören aus der Luft — beim Hören aus starren Körpern dürften die Bedingungen einfacher sein — Individuen mit exakt gleicher Leitungsfähigkeit beider Ohren für die Schallstärke nicht sehr häufig vorkommen werden; in einem Fall, bei Dr. Korniloff aus Moskau, der einige phonometrische Untersuchungen in meinem Institut anstellte, fand ich allerdings eine vollständige Gleichheit der beiderseitigen Leitungen des Gehöres beim Hören aus der Luft.

§ 14. Die akustische Dynamie in einem Fall von einseitigem Ohrenkatarrh.

Im April 1883 hatte ich die mir hochwillkommene Gelegenheit, Messungen der Hörschärfe an meinem katarrhalisch erkrankten rechten Ohr anstellen zu können. Seit Wochen mit einem fieberlosen Bronchialkatarrh behaftet, zu dem sich dann und wann ein mässiges Ohrensausen rechterseits gesellte, fand ich, bei gleichzeitigem Nasenschnupfen, die Hörschärfe auf dem rechten Ohr bedeutend herabgesetzt.

Als Schallquelle benutzte ich das in dieser Zeit noch zu andern Zwecken gebrauchte »veränderliche« Phonometer. Auf dem einen Ende eines horizontalen 4eckigen Stabes von Buchenholz lag ein rundes Alabasterplättchen von 3 Mm Dicke und auf diesem ein Bleiplättchen von 2,26 Mm Dicke; beide Plättchen hatten einen Durchmesser von 3 Cm. Der Schall wurde im Blei durch herabfallende Bleikugeln erregt.

Beim Hören aus der Luft (immer in einem Abstand von 30 Cm von der Schallquelle) stellten sich sehr grosse Unterschiede der Feinhörigkeit beider Ohren heraus. Die minimale Schallstärke, welche eben noch linksseitig eine Schwellenempfindung ergab, wurde durch ein 19,0 Mg schweres Kügelchen und eine Fallhöhe von 20 Mm hervorgebracht, was (da ε zu 0,63 bestimmt wurde) einer Schallstärke von $19 \times 20^{0,63} = 125,4$ entspricht.

Auf der rechten Seite musste ein Gewicht von 295 Mg und eine Fallhöhe von 24 Mm genommen werden, um eine Schwellenempfindung zu erzielen, was eine Schallstärke von 2184 ergiebt. Der Unterschied ist also nahezu ein $17\frac{1}{2}$facher! Während ich bei grösstmöglichster Annäherung meiner leise schlagenden Taschenuhr an das rechte Ohr nichts vernahm, konnte das Ticktack linkerseits bei 19 Cm Abstand eben noch bemerkt werden; eine Menge von schwächeren Schallen hörte ich rechterseits (bei Verstopfung des linken Ohres) nicht, sogar das Hören der Menschenstimme von gewöhnlicher Stärke war ein wenig beeinträchtigt.

Wurde aber der Schall durch einen starren Körper (den gewöhnlichen Conductor von Eichenholz) den Ohren zugeleitet, so stellten sich sehr viel geringere Unterschiede heraus, als beim Hören aus der Luft. Auch hier erschütterte ein Bleikügelchen das oben erwähnte bleierne Plättchen, welches auf dem alabaster-

nen lag. Von da gieng der Schall durch die ganze Länge (50 Cm) des Stabes von Buchenholz, auf dessen anderes Ende der gewöhnliche Eichenholzconductor gestellt war. Rechterseits war zur Erzielung der Gehörschwelle bei einem Fallgewicht von 2,3 Mg eine Fallhöhe von 3,1 Mm erforderlich; linkerseits bei einem Fallgewicht von 1,4 Mg ein Fallraum von 2,4 Mm. Da in diesem speciellen Falle $\varepsilon = 0{,}52$, so ist die zur Schwellenempfindung erforderliche objektive Schallstärke (ausgedrückt in Einheiten der hier gebrauchten Schallquelle) rechterseits 4,142, linkerseits 2,207, also ein Unterschied von bloss etwa dem 1,9fachen.

Unter diesen Umständen brauchte ich die Hörversuche, zu denen ich immer das mir bequemere rechte Ohr verwende, nicht auszusetzen. Ich bemerke nur, dass ich in zwei andern Versuchsreihen unter genau denselben Versuchsbedingungen, für das rechte Ohr die Schallstärke 5,204, resp. 3,874 erhielt.

Während die obigen Versuche über das Hören aus der Zimmerluft bei 30 Cm Abstand von der Schallquelle angestellt wurden, gebrauchte ich zu den nachfolgenden ein 342 Cm langes, rundes Rohr von steifem Papier als Schalleiter. Der Durchmesser des Rohres betrug 9 Cm. Als Schallquelle diente der öfters gebrauchte kleine Elfenbeinrecipient, der durch Bleikügelchen erschüttert wurde. Die Schallquelle befand sich in einem besondern Zimmer dicht vor dem einen Ende des langen Papierrohres, welches durch ein in einer Wand zu anderen Versuchszwecken angebrachtes Loch gesteckt war, so dass der im anstossenden Zimmer befindliche Beobachter (bei geschlossener Thüre) am andern Ende des Rohres hörte.

Zunächst wurde der Exponent ε (mit dem linken Ohr) bestimmt, indem die zwei Schalle von 5 verschiedenen Schallpaaren bei Anwendung von je 2 verschiedenen Gewichten und Ermittelung der erforderlichen Fallhöhen der Bleikugeln gleich stark gemacht wurden. Die Schallstärke I (der ersten Horizontalreihe der Tabelle 16) ist nur wenig über dem Schwellenwert, wogegen das Schallpaar V schon eine ziemlich starke Schallempfindung hervorbringt.

Tabelle 16.

Bestimmung des Exponenten ε.

	Grösseres Gewicht P in Mg	Fallhöhe h in Mm	Kleineres Gewicht p in Mg	Fallhöhe H in Mm	$\frac{P}{p}$	$\frac{H}{h}$	ε
I)	12,6	10	5,4	35	2,333	3,50	0,67
II)	45,0	10	19,0	37	2,368	2,70	0,66
III)	141	10	74,0	28	1,905	2,80	0,63
IV)	295	10	141	30	2,092	3,00	0,67
V)	1549	10	613	35	2,527	3,50	0,74

Die Versuche I—IV ergeben keine Zunahme der ε-Werte mit zunehmendem Gewicht; ich setze im Mittel ε = 0,66. Dagegen ist für die Versuche von V ε sehr merklich höher (0,74), durch Interpolation würde sich für das Gewicht 1549 Mg ε auf 0,79, für Gewicht 613 auf 0,69 annähernd berechnen.

Die Versuche der obigen Tabelle wurden zu einer Zeit angestellt, in welcher sich die Hörfähigkeit des rechten Ohres schon sehr bedeutend gebessert hatte. In dieselbe Zeit fielen die Versuche der nachfolgenden Tabelle, in welchen jeweils für das besser hörende linke Ohr ein Schall von bestimmter Intensität (bei constanter Fallhöhe von 10 Mm und bei einem, für jede der 4 Versuchsreihen wachsenden Fallgewicht) hergestellt wurde, worauf dem rechten Ohr der Vergleichsschall geboten wurde. Letzterer musste mittelst eines schwereren Gewichtes hergestellt werden; die Fallhöhe wurde so lange abgeändert, bis beide Schalle gleich stark waren. Das kleine Zeitintervall, welches beim jeweiligen zweiten Versuch für die Application des rechten Ohres an das Röhrenende erforderlich war, war nur ganz kurz, so dass beide Schalle gut mit einander verglichen werden konnten.

Tabelle 17.

Die zur Herstellung gleichstarker Empfindungen für die beiden Ohren erforderlichen Schallstärken.

	Linkes Ohr			Rechtes Ohr			
	Fallgewicht p in Mg	Fallraum in Mm	a Schallstärke in Einheiten des Elfenbeinrecipienten	Fallgewicht P in Mg	Fallraum in Mm	b Schallstärke	a : b
I)	5,4	5	15,62	56,0	2	88,4	1 : 5,6
II)	12,6	10	58,43	74,0	3,1	156,1	1 : 2,7
III)	45,0	10	208,55	141,0	12	726,8	1 : 3,5
IV)	141,0	10	653,50	441	6	1438,9	1 : 2,2
V)	441,0	10	1995,5	1539	4,5	5085,8	1 : 2,5

Die 2 Werte 15,62 und 88,4 der ersten Horizontalreihe sind Schwellenwerte.

In nachfolgender Tabelle gebe ich die analogen Messungsresultate, welche bei sehr viel grösserer Schwerhörigkeit des rechten Ohres 8 Tage vor den Versuchen der Tab. 17 erhalten worden sind.

Tabelle 18.

Die zur Herstellung gleichstarker Empfindungen für beide Ohren erforderlichen Schallstärken.

Linkes Ohr			Rechtes Ohr			
Fallgewicht p in Mg	Fallraum in Mm	a Schallstärke in Einheiten des Elfenbeinrecipienten	Fallgewicht P in Mg	Fallraum in Mm	b Schallstärke	a : b
5,4	4	13,48	74,0	6,6	257,05	1 : 19,3
12,6	10	58,43	141	27	1242,3	1 : 21,3
45,0	10	208,55	441	20	3184,6	1 : 15,2
141,0	10	653,50	613	40,2	7840,0	1 : 12,0

§ 15. Abhängigkeit der Schallstärke von dem Material des Phonometers.

Sämtliche in diesem und den folgenden §§ untersuchten Fragen stehen mit später zu betrachtenden und faktisch zu beweisenden Thatsachen und Gesetzen der Erzeugung und Leitung der Schalle in Beziehung; an dieser Stelle beschränke ich mich vorzugsweise auf praktische Erörterungen im Interesse der phonometrischen Messung.

Verändert man die Versuchsbedingungen, z. B. durch Anwendung von Phonometerplatten verschiedenen Materiales, oder von verschieden schweren Platten desselben Materiales, überhaupt von Phonometern jedweder sonstigen Einrichtung, so ändert sich bei demselben Beobachter (annähernd constante Hörempfindlichkeit vorausgesetzt) selbstverständlich der Wert von *S*.

Die einfachste Abänderung der Schallquelle besteht in der Verwendung verschiedener Phonometerplatten zur Schallerzeugung. Zu den Versuchen benützte ich das Schieferphonometer und die schmäleren Zinkplatten I und VI (§ 5) von 553 und 3312 Gr

Gewicht. Die Fallgewichte waren kleine Bleikügelchen, von 2,7 und 3,4 Mg beim Schieferphonometer, von 3,4 und 4,35 Mg bei der dünnen, von 17,5 und 36,5 Mg bei der dicken Zinnplatte. Als Conductor diente der gewöhnliche Eichenholzcylinder. An jedem der 4 Versuchstage wurden jeweils die drei Phonometerplatten vergleichend geprüft und die Schallstärke S nach den Vorschriften der §§ 5, 6, 10 bestimmt. Dasjenige S, welche eine eben noch merkliche Hörempfindung vermittelt, war im Durchschnitt aus den 4 Versuchsreihen

beim Schiefer = 6,35
bei der dünnen Zinnplatte = 9,07
» » dicken » = 79,10.

Demnach zeigt S sehr verschiedene Werte bei Verwendung verschiedener Phonometerplatten (und desselben Conductors). Um die leicht schwingende Schiefertafel derartig zu erschüttern, dass sie dem Conductor einen dem auscultierenden Ohr eben noch merklichen Schall mitteilt, ist ein geringerer Stoss der Fallkugel erforderlich, als bei der dünnen Zinnplatte; die dicke Zinnplatte verlangt zu diesem Zweck einen mehr als 13mal stärkeren Stoss, als die Schieferplatte. In allen drei Fällen haben wir aber als Endeffekt des Stosses dieselbe, d. h. eine eben noch merkliche, Empfindung, also auch genau dieselbe Schwingungsintensität in den schalleitenden Teilen des Ohres.

In einer später unternommenen Versuchsreihe verglich ich in 4 auf einander folgenden Tagen die Dynamiewerte am Schieferphonometer, die der 2406 G schweren breiten Zinnplatte und des »vereinfachten Phonometers« des § 7. Zu letzterem Zweck wurde der a. a. O. erwähnte kleinere Apparat benützt, wobei auf den kurzen Cylinder als eigentliche Schallquelle ein Eichenholzplättchen von 5 Mm Dicke zur Aufnahme des Fallkügelchens gelegt wurde.

Ich stellte sowohl an den Vor-, als Nachmittagen desselben Tages Versuche an. In den ersten Nachmittagsstunden erleidet die Hörschärfe in der Regel eine kleine Einbusse in Folge der Verdauung. Jede Versuchsreihe beruht auf 25—40 Einzelversuchen, einschliesslich der erforderlichen Vexierversuche, die nahezu alle richtig ausfielen. Die S-Werte waren im Endmittel:

für die Schieferplatte 8,25
die Zinnplatte 13,08
das vereinfachte Phonometer 6,91.

Wenn ich jedoch die Endmittel aus zahlreichen, von einander un-

abhängigen Versuchen unter sich vergleiche, erhalte ich für die Schieferplatte 11,24, die Zinnplatte 14,7 als S-Werte.

Ferner wurde in 2 auf einander folgenden Tagen, die einen erheblichen Unterschied meiner individuellen akustischen Dynamie ergaben, an der Schieferplatte und dem vereinfachten Phonometer (Modell III pag. 37) experimentiert. Als Fallkörper dienten wiederum Bleikügelchen. Die *S*-Werte waren:

	Schieferphonometer	Phonometer Modell III	
am ersten Tag:	9,72	18,06	$= \frac{18,06}{9,72} = 1,86$
am zweiten Tag:	6,20	10,78	$= \frac{10,78}{6,20} = 1,74.$

Dass bei Phonometern verschiedenen Materiales die zur Erzielung einer eben noch merklichen Hörempfindung erforderlichen Stösse eine verschiedene Stärke haben, die entsprechenden Dynamiewerte also verschiedene durchschnittliche Grössen annehmen müssen, versteht sich von selbst.

Aus den allgemeinen Normen der Sinnesphysiologie folgt ausserdem und wird durch die phonometrischen Beobachtungen bestätigt (s. auch § 12), dass die Hörschärfe bei demselben Beobachter keine constante Grösse ist, d. h. dass die Werte der akustischen Dynamie schwanken, jedoch nur innerhalb gewisser, nicht allzuweiter Grenzen.

Zur Beurteilung der Versuchsergebnisse des vorigen § habe ich das, an andern Stellen dieser Schrift durch zahlreiche Messungen der Schallschwächung in den verschiedensten Schalleitern experimentell bewiesene, Gesetz vorauszustellen, dass der Schall, in begrenzten Leitern, in der Längseinheit des Leiters jeweils um einen bestimmten, von der Natur, dem Querschnitt u. s. w. desselben abhängenden absoluten Betrag geschwächt wird.

Die dicke Zinntafel verlangt zur Herstellung einer Schwellenempfindung einen mehr als 13mal stärkeren Stoss, als (unter sonst genau denselben Bedingungen) die Schiefertafel; also sind die in entsprechenden Schallstärkeeinheiten ausgedrückten Schallstärkewerte an der Zinntafel mit 13 zu dividieren, um dieselben in Schallstärkeeinheiten der Schieferplatte auszudrücken.

Wenn die an dem Schiefer- und den beiden Zinnphonometern angestellten Dynamiebestimmungen vollkommene Gleichheit der Bedingungen boten, mit Ausnahme des eben zu untersuchenden Einflusses des Materiales etc., des Phonometers, so verhält es sich anders bei den beiden »vereinfachten Phonometern«.

Bei den an dem einen dieser Phonometer angestellten Versuchen war die Schallquelle ein kleines Eichenholzplättchen; das Phonometer selbst diente lediglich als Conductor, der aber eine ganz andere Form, Länge und Schwere hat, als unser gewöhnlicher Eichenholzconductor. Das Eichenholzplättchen ist leicht zu erschüttern, das Phonometer setzt aber grössere Widerstände dem Schall entgegen, als der gewöhnliche Conductor. Der *S*-Wert ist etwas geringer, als bei der Schiefertafel.

Bei dem Versuche an dem massigen Phonometer (Modell III) diente letzteres sowohl als Schallquelle (indem es direkt durch die Kugel erschüttert wurde), wie als Conductor. Der *S*-Wert ist etwas über das Zweifache grösser, als am Schieferphonometer.

Obschon die Leistungen der einzelnen Teile beider »vereinfachten Phonometer« erst nach Anstellung besonderer Versuchsreihen exact beurteilt werden können, so lässt sich doch schon jetzt wenigstens die Endleistung mit jedwedem anderen Phonometer vergleichen, da es hier nicht auf die Leistungen der einzelnen Teile, sondern auf die Gesamtleistung aller Teile zunächst ankommt.

Aus den oben erwähnten vergleichenden Versuchen an dem Schieferphonometer und dem vereinfachten Phonometer (Modell III) geht hervor, dass das gegenseitige Verhältnis der an verschiedenen Phonometern erhaltenen Dynamiewerte von der jeweiligen Hörschärfe unabhängig ist. Die Stärke der zu einer Schwellenempfindung erforderlichen Stösse verhielt sich am Schiefer- und dem vereinfachten Phonometer wie 1 : 1,86, am zweiten Tag aber, an dem ich viel feinhöriger war, wie 1 : 1,74. Die Differenz beider Verhältniswerte kann bei den wenigen Messungen nicht in Betracht kommen; zudem bestätigen zahlreiche andere, bei späteren Gelegenheiten zu erwähnende, Erfahrungen meinen Schluss vollständig, der durch nachfolgende Ueberlegung genügend motiviert wird.

Ein und dasselbe Phonometer schwächt eine bestimmte Schallstärke, die beim Durchgang durch dasselbe auf den Schwellenwert abgemindert wird, immer um denselben absoluten, objektiven, in Schallstärkeeinheiten dieses Phonometers ausgedrückten Betrag. Die Schwächung bei der Fortleitung von der Aufschlagsstelle der Kugel auf die Phonometerplatte, bei der Leitung durch die Platte, den Conductor und die Schalleiter des Ohres bis ins Labyrinth ist, bei den gegebenen Versuchsbedingungen, constant (= C); ein, schliesslich noch übrig bleibender, Rest n objektiver Schall-

bewegung reicht eben noch hin, um eine Schwellenempfindung auszulösen. Also ist $C+n = S$. Ganz dieselben Betrachtungen gelten auch für die »vereinfachten Phonometer«.

Ist die Hörschärfe aber geringer, muss also der übrig bleibende Rest 2n betragen, so haben wir $C+2n$, also ist ein stärkerer Stoss S erforderlich, um eine Schwellenempfindung zu verursachen.

Ist andererseits bei einem zweiten Phonometer die constante Schallschwächung (ausgedrückt in Schallstärkeeinheiten dieses Phonometers) $= C_1$, der zur Anregung der mikroskopischen Endorgane im Labyrinth übrig bleibende Rest des Schalles n_1 und war der Stoss S_1 erforderlich, um die Schwellenempfindung hervorzurufen, so ist $S_1 = C_1+n_1$. Für den speciellen Fall, dass $S_1 = 2S$ und $C_1 = 2C$, wird auch $n_1 = 2n$. —

Die Vergleichbarkeit der Versuche an zwei verschiedenen Phonometern wäre eine absolute, wenn n eine constante Grösse wäre. Letzteres ist aber nicht im strengen Sinne der Fall, obwohl freilich dieser Factor nicht von allzu grossem Einfluss sein dürfte, immer denselben Beobachter und eine gehörig grosse Zahl von Einzelversuchen vorausgesetzt; er wird sich an jedem einzelnen der Phonometer ausgleichen, d. h. einem gewissen mittleren Wert sich gleich setzen lassen, und dadurch die Vergleichbarkeit zweier, an sich auch sehr verschiedener, Phonometer gestatten, wie im nächsten § 15ª noch näher gezeigt werden soll.

---

§ 15ª. Vergleichbarkeit der an Phonometern verschiedenen Materiales angestellten Schallstärkemessungen.

Die Messungen der Schallstärke, sowie der Grösse der Schwächung, welche der Schall bei seinem Durchgang durch leitungsfähige Körper erleidet, sollte aus den schon früher erwähnten Gründen wo möglich nur mit Phonometern derselben Construction ausgeführt werden. Die Resultate sind dann direkt unter sich vergleichbar und bedürfen zur vollständigen Vergleichbarkeit nach den §§ 11 und 12 nur einer einzigen Correctur, wegen der Verschiedenheit der akustischen Dynamie sowohl der einzelnen Beobachter, als auch (unter Umständen) desselben Beobachters zu verschiedenen Zeiten. Ich würde deshalb meinen Nachfolgern sehr empfehlen, als Phono-

meterplatte eine viereckige Zinntafel von den Dimensionen 222—171 und 8,2 Mm und dem Gewicht von 2406 Gr zu benützen.

Die an verschiedenartigen Phonometern angestellten Messungen des Schalleitungsvermögens sind jedoch, wie ich jetzt zu zeigen habe, immerhin unter sich vergleichbar.

Das in ein Phonometer von beliebiger Beschaffenheit — Phonometerplatte und Conductor — eingeschaltete fremde Medium mindert einen Schall von derselben Stärke unter allen Umständen um denselben, unabänderlichen Betrag. Letzterer ist aber zunächst nur ausdrückbar in *s*-Werten (Milligrammillimetern), die auf ihre specielle Schallquelle (Phonometer) bezogen werden müssen und nur für diese Gültigkeit haben.

Wenn aber die an sich sehr verschiedenen *S*-Werte bei Anwendung verschiedener Phonometer unter sich vergleichbar sind, so müssen auch die an dem geprüften schallschwächenden Medium gefundenen und in ihren *s*-Werten ausgedrückten Schallschwächungen den *S*-Werten der entsprechenden Phonometer proportional sein. Versuche der Art geben uns ausserdem eine neue Einsicht in die Schalleitungsverhältnisse, resp. eine erwünschte Bestätigung des auf anderem Wege gefundenen Schalleitungsgesetzes.

An drei Phonometerplatten, der gewöhnlichen Schiefertafel, einer dünnen, 553 G schweren und einer dicken, 3312 G schweren Zinnplatte (§ 4) wurde mein Wert von *S* für die Zeit dieser Versuche bestimmt. Als Conductor diente der gewöhnliche Eichenholzcylinder, an dessen unterem Ende jedoch eine Messingplatte mit Siegellack befestigt war. Die Werte von *S* waren (s. Tabelle 19) für die Schieferplatte 6,34, die leichte Zinnplatte 8,79, die schwere Zinnplatte 110,3.

Nun wurde zwischen den Phonometerplatten und dem Conductor eine schlecht leitende Schicht eingefügt. Dieselbe bestand aus 7 übereinander liegenden ziemlich dünnen Plattenpaaren von Marmor und vulkanisiertem Kautschuk. Die zwei Elemente jedes Paares, sowie auch die einzelnen Paare unter sich, waren je durch eine dünne Schicht Siegellack verbunden; Alles zusammen stellte eine 47 Mm hohe Säule von 27 Schichten dar (je 3 Schichten eines Paares und die 6 Siegellackschichten, welche die Paare mit einander verbanden), durch welche der Schall der Reihe nach durchgehen musste. An jedem Ende der Säule war 1 Mm dicke Messingplatte mit Siegellack befestigt, so dass die Zahl sämtlicher Schichten 31 betrug. Auf die obere Messingplatte der Säule wurde das untere, wie oben erwähnt, mit einer Messingplatte versehene

Ende des Eichenholzconductors gestellt und durch eine hier nicht näher zu beschreibende kleine Vorrichtung mit der Messingplatte der Säule fest verbunden.

Bei den Dynamiebestimmungen S ging der Schall der Phonometerplatte durch den Conductor in das Ohr; bei der jetzt erschwerten Schalleitung aber aus der Phonometerplatte, durch die Säule und den Conductor in das Ohr. Dieser, zur Entstehung einer eben merklichen Empfindung erforderliche Schall war also viel stärker; er sei mit S_1 bezeichnet, Also ist der Schallstärkeverlust, ausgedrückt in s-Werten der speciellen Phonometer, beim Durchgang durch die Säule S_1 minus S.

Die nachfolgende Tabelle enthält für jede der an den drei Phonometerplatten angestellten Versuchsreihen 1) die Werte der (mit dem Eichenholzconductor bestimmten) S; 2) die Werte der bei Einschaltung der schallschwächenden Schicht zwischen Phonometertafel und Conductor gefundenen S_1; 3) die in s, also in absoluten Werten ausgedrückte Schallschwächung = S_1 minus S; 4) die in Dynamien berechnete Schallschwächung = $\frac{s}{S}$.

Tabelle 19.

Schwere Zinnphonometertafel				Leichte Zinnphonometertafel				Schieferphonometertafel			
S	S_1	Schallschwächung in s	Schallschwächung in Dynamien	S	S_1	Schallschwächung in s	Schallschwächung in Dynamien	S	S_1	Schallschwächung in s	Schallschwächung in Dynamien
109,7	1206	1097	10,0	9,77	130	120	12,3	9,28	65,0	55,7	6,0
86,4	889	803	9,3	7,65	120	112	14,6	5,07	59,8	54,7	10,0
124,7	1771	1646	13,2	7,65	92	84	11,0	5,16	42,9	37,7	7,3
				10,00	108	98	9,8	5,84	52,5	46,7	8,0
				8,90	116	107	12,0				
Mittel: 110,3	1289		10,8	8,79	113		11,9	6,34	55,0		7,6

Bei der Vergleichung der Schalleitungsbedingungen bei der Bestimmung des S und des S_1 kann ich ermüdende Aufzählung sämtlicher jeweiligen inneren, wie Uebergangswiderstände unterlassen. Dieselben sind aus den eben genau angegebenen Versuchsanordnungen ersichtlich.

Die 4 ersten Widerstände, vom Uebergangswiderstand aus der Phonometertafel in die Messingplatte bis einschliesslich der

Leitung durch die erste Siegellackschicht sind für S und S_1 genau dieselben. Sie seien mit B bezeichnet.

Dann folgt bei S der Widerstand (er soll a heissen) beim Uebergang aus der Siegellackschicht in das Holz des Conductors, bei S_1 aber 1) der Uebergangswiderstand aus Siegellack in die unterste Marmorschicht der Säule (er sei = b), 2) die Summe aller Widerstände in der Säule bis einschliesslich der Siegellackschicht am unteren Ende des Conductors; diese seien = A. 3) der Uebergangswiderstand aus der eben genannten Siegellackschicht in das Holz des Conductors, d. h. der auch bei der S-Bestimmung vorkommende, oben mit a bezeichnete, Widerstand. Endlich sind die noch übrigen Widerstände (C), nämlich: Fortleitung durch den Conductor u. s. w. dieselben in S und S_1. Also haben wir bei der S-Bestimmung die Widerstände, resp. Widerstandssummen B + a + C, bei den S_1-Bestimmungen aber B + b + A + a + C. Demnach kommen bei S_1 zwei neue Widerstände hinzu, um deren Messung es sich eben handelt, während sämtliche übrigen Widerstände genau gleich sind.

Dass die Schwächung bis herab zur Ebenmerklichkeit, welche der Schall beim Durchgang durch die Marmor-Kautschukschichten erleidet, zu den ursprünglichen Schallquellen in einem bestimmten constanten Verhältnis stehen müsse, ist mit Sicherheit zu erwarten. Nach welchem Gesetz diese Schwächung sich geltend macht, kann aber nicht von vorneherein, sondern nur auf dem Wege des Versuches festgestellt werden.

Die schwere Zinnplatte (Tab. 19) bedarf eines starken Stosses: 110,3 S (im Endmittel aus drei Versuchen), um dem Ohr, bei Anwendung des Eichenholzconductors, einen eben noch merklichen Schall zuzuführen. Nach Einschaltung der Marmor-Kautschukschichten musste der Stoss auf 1289 S_1 (im Endmittel) verstärkt werden, um den eben noch merklichen Schall zu erzeugen. In welchem Verhältnis stehen nun die Werte S und S_1 zu einander? Nehmen wir versuchsweise die denkbar einfachste Beziehung an, d. h. dass die ursprüngliche Schallstärke S_1, welche erforderlich ist, um dem Ohr, nach ihrem Durchgang durch die Marmor-Kautschukschichten und den Conductor einen eben noch merklichen Eindruck zuzuführen, auf das S abgemindert werden müsse, welches bei der blossen Anwendung des Conductors (der gewöhnlichen Dynamiebestimmung) in dem Ohr einen eben noch merklichen Schall erregt. Somit wäre die Schwächung, welche der Schall in dem leitenden Medium erleidet = $S_1 - S$. Also ist die Schall-

schwächung in dem leitenden Medium $= \frac{S_1 - S}{S}$ ausgedrückt in Dynamien. Das Endmittel dieser Dynamien ist (s. Tabelle 19) = 10,8.

Die leichte Zinnphonometertafel wurde schon durch 8,79 S (im Endmittel) genügend erschüttert, um im Ohr den eben noch merklichen Eindruck hervorzurufen. Nach Einschaltung der Marmor-Kautschukschichten musste zur Erzeugung des schwächsten, noch hörbaren Schalles der Stoss auf durchschnittlich 113 erhöht werden. Das Endmittel der, wiederum in Dynamien ausgedrückten, Schallschwächung ist (s. Tabelle 19) = 11,9; die Differenz von dem vorhin gefundenen Wert 10,8 kann nicht in Betracht kommen.

An der Schieferphonometertafel war S im Durchschnitt aus 4 Versuchen = 6,34, S_1 550. Das Endmittel der in Dynamien ausgedrückten Schallschwächung beträgt nahezu 8,0. Die an der Schiefertafel gemachten Messungen ergeben demnach eine etwas kleinere Anzahl von Dynamien, als die an den Zinntafeln ausgeführten; diese Abweichung ist wohl eine zufällige, die in einer grösseren Versuchsreihe sich ausgleichen würde. Sie könnte, glaube ich, noch grösser sein, ohne die Beweiskraft der aus diesen Versuchen zu ziehenden Schlüsse zu beeinträchtigen.

Ich glaube, keines Zirkelschlusses mich schuldig zu machen, wenn ich auf Grund obiger Versuche behaupte 1) dass die an den so sehr verschiedenen Phonometerplatten (desselben oder verschiedenen Materiales) bestimmten, absolut genommen höchst verschiedenen Dynamiewerte (S), sowohl ihrem Empfindungsinhalt nach, als in Bezug auf die durch dieselben in den verschiedenen Phonometertafeln bewirkte objektive Erschütterung als gleichwertig zu betrachten sind und 2) dass ein und dasselbe Medium seine Schallschwächung unter allen Umständen in derselben, also constanten, Weise zur Geltung bringt [1]).

---

1) In einer Randnote bezeichnet Verf. den vorstehenden Paragraphen als nicht ganz abgeschlossen, sagt aber ausdrücklich, nachdem er die an beiden Zinnphonometern gewonnenen akustischen Dynamien erwähnt, dass von jedem der Phonometer gleiche objektive Schallstärken in den Conductor und das Ohr übergehen. S. übrigens § 18 u. a. St. dieser Schrift.

§ 16. Abhängigkeit der Schallstärke von dem Gewicht der Phonometer desselben Materiales.

Von den grösseren Zinnplatten (§ 5) wurden fünf benützt zur Bestimmung derjenigen Schallstärke (S), die eine eben noch merkliche Empfindung ergiebt. Die Bleikügelchen fielen auf die Zinnplatte jeweils 4 Cm entfernt von der Mitte der einen Schmalseite der Platte; in demselben Abstand von der andern Schmalseite wurde der gewöhnliche Eichenholzconductor aufgesetzt. Die Zinntafeln lagen unmittelbar auf einem mittelgrossen Tisch von Tannenholz. Zur Ermittelung des Exponenten ε wurde an sämtlichen 5 Zinnplatten mit dem Gewichtspaar $\frac{45{,}0}{17{,}5}$ Mg, also mit $\frac{P}{p} = 2{,}571$ experimentiert. Die fünfte Vertikalreihe der nachfolgenden Tabelle zeigt, dass ε für sämtliche Fälle denselben Wert hat, nämlich 0,679 im Endmittel; bei der Berechnung der Schallstärken S ist ε rund = 0,68 gesetzt. Die Tabellen sind die Endmittel aus zwei an verschiedenen Tagen angestellten Versuchsreihen.

Tabelle 20.

	Gewicht der Zinnplatten (Gr)	Bestimmung von ε			Erforderliche Schallstärke zur Herstellung der Schwellenempfindung		
		h Fallhöhe der schwereren Kugel (Mm)	H Fallhöhe der leichteren Kugel (Mm)	ε	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	S
I	1139	10	39,5	—	4,72	5,7	15,41
II	2406[1])	10	40,8	—	5,70	4,0	14,63
IV	4469	10	40,0	—	5,70	7,5	30,90
V	5718	10	40,4	—	7,85	6,5	28,67
VI	6718	10	40,0	—	7,85	6,0	26,55
			Mittel: 40,14	ε=0,679			

Aus den Ergebnissen der voranstehenden Tabelle kann ich vorerst keinen weiteren Schluss ziehen, als den ganz selbstverständlichen, dass bei Phonometern desselben Materials der Wert von S bei verändertem Phonometergewicht nicht gleich bleiben kann. Um eine schwere Phonometerplatte in Schwingungen von bestimmter Stärke zu versetzen, ist offenbar ein stärkerer Stoss erforderlich, als bei einer leichten Platte desselben Materiales.

1) Die gewöhnlich gebrauchte Zinnphonometerplatte.

Die S-Werte der voranstehenden Tabelle gehören 2 Gruppen an: Platte I und II einerseits und IV, V und VI anderseits. Zur Analyse der Einzelwerte fehlt aber vorerst jeder Anhaltspunkt. Dass bei unseren Schwellenversuchen die in den Conductor eintretende Schallstärke in sämtlichen Versuchen dieselbe sein muss, versteht sich von selbst; der ursprüngliche Stoss erleidet demnach Abänderungen bei seiner Fortpflanzung durch das Phonometer von der Aufschlagstelle a der Kugel an bis zu der Stelle b, wo der Conductor aufgesetzt ist. Zur Beurteilung der Versuchsbedingungen wären somit weitere Versuchsreihen erforderlich über die allmählige Abschwächung des Schalles zwischen a und b. Die Versuchsbedingungen sind hier überhaupt so compliciert, dass an eine Analyse derselben vorerst gar nicht gedacht werden kann; jedenfalls kann es sich — wie wir auch später in andern Versuchsreihen bestätigt finden werden — hier nicht ausschliesslich um einen Einfluss handeln, welcher der Phonometermasse einfach proportional wäre. Auch sind die 5 S-Werte der Tabelle nicht einfach mit einander vergleichbar, da von denselben sämtliche (gleichstarken) Schwächungen abzuziehen sind, die der Schall im Conductor und im Hörorgan erleidet. Für die Phonometerplatte II kann ich die durch den Conductor bewirkte Schallschwächung nach anderweitigen Erfahrungen ungefähr angeben; sie beträgt 6,16 Milligrammillimeter; dagegen bin ich nicht im Stand, die entsprechenden Werte für die andern Fälle aufstellen zu können.

Ich bin weit entfernt, zu behaupten, dass bei Phonometerplatten verschiedenen Gewichtes der ε-Wert immer constant sein müsse, wie in den Versuchen der obigen Tabelle 20 für ein bestimmtes Gewichtspaar gefunden worden ist. Zur allgemeinen Lösung der vorliegenden Frage würden zahlreiche und umfassende Versuchsreihen nötig sein, die ich unmöglich habe aufbringen können. Für die praktischen Ziele der Phonometrie handelt es sich aber nicht um eine allgemeine Untersuchung unserer Frage, sondern eigentlich nur und ganz einseitig um die genaueste Ermittelung der Resultate, die an jene, verhältnismässig wenig variierenden Versuchsbedingungen geknüpft sind, welche den anzustellenden Schallstärkemessungen eigentümlich sind.

§ 17. Einfluss der Aufschlagstelle des Fallgewichtes, sowie der Unterlage der Phonometerplatte auf die Schallstärke.

Phonometerplatten von den von mir gebrauchten Dimensionen zeigen in verschiedenen Abständen von dem Aufschlagspunkt des Fallkügelchens keine erheblichen Unterschiede der Schallstärken. Ich hätte eher das Gegenteil erwartet.

Zur Prüfung dieser Verhältnisse wurde die Phonometerschiefertafel benützt, die, wie bemerkt, nur mit ihrem Rahmen den Tisch berührte. Phonometerplatten, z. B. von Zinn, die mit ihrer ganzen Unterfläche den Tisch berühren, dürften wohl etwas andere Resultate ergeben. Der Aufschlagspunkt des Fallkügelchens war 7 Mm von der Mitte der einen Schmalseite des Holzrahmens entfernt. Der Schall wurde durch einen Conductor von Buchsbaumholz zum Ohr geleitet. Der Conductor war an seinem unteren Ende ausgehöhlt, so dass die Hohlkugel der Pincette des Fallapparates in die Höhlung des Conductors gebracht werden konnte. (S. Fig. 4, F pag. 32.) In dieser Stellung des Conductors konnte also der Schall in nächster Nähe vom Aufschlagspunkt des Fallkügelchens gehört werden. Ausserdem wurde der Conductor in einem Abstand von 5—10—15 und 20 Cm vom Aufschlagspunkt des Fallkügelchens auf die Schiefertafel gesetzt. Das Fallkügelchen war 3,4 Mg schwer; bei 4 Mm Fallhöhe wurde der Schall an sämtlichen 5 Stellen der Schiefertafel gehört; bei $3^1/_2$ Mm Fallhöhe wurde er bei 20 Cm Abstand vom Aufschlagspunkt nicht mehr in allen Fällen gehört; bei 3 Mm Fallhöhe konnte er bei 20 Cm Abstand nicht mehr vernommen werden, wohl aber war eine schwächste Empfindung noch an den 4 übrigen Stellen merklich. Demnach ist S für diese 4 Stellen = 6,49.

Ueber den Einfluss der Unterlage der Phonometerplatte habe ich eine Reihe von Beobachtungen angestellt. Eine und dieselbe Phonometerplatte giebt je nach ihrer Lagerung durch Aufschlagen derselben Fallkugel und bei gleicher Fallhöhe Schalle von verschiedener Stärke und Qualität, wie man sich schon beim Hören aus der Luft leicht überzeugen kann.

Unsere Phonometerschiefertafel giebt beim Aufschlagen von Bleikugeln einen dem Toncharakter ziemlich nahe stehenden Schall, wenn man sie bloss an ihren Enden zwischen den Fingern hält. Bei den nachfolgenden 4 Lagerungsweisen wurde die Tafel un-

mittelbar oder mittelbar durch einen Tisch von Tannenholz unterstützt und zwar a) und e) während die Tafel in ihrem Rahmen (von Tannenholz) sich befand, b) und f) während die beiden Schmalseiten des Rahmens auf 6 Lagen Baumwollentuch (von einer Gesamtdicke von je 7 Mm) gelegt waren. In c) wurde die Tafel aus dem Rahmen genommen und mit ihren beiden Schmalseiten auf Baumwolltuch, wie bei b) gelegt. d) Die Tafel (ohne Rahmen) wird unmittelbar auf den Tisch gelegt; die Berührung mit der Oberfläche des letzteren ist selbstverständlich nicht in allen Punkten eine vollständige.

Ein auf die Tafel fallendes grösseres Bleikügelchen giebt den stärksten und schärfsten (auch tiefsten?) Schall bei a), einen viel schwächeren und dumpferen bei c), besonders schwach und dumpf ist der Schall bei d).

Bei der Bestimmung des S war der Aufschlagspunkt des Bleikügelchens 45 Mm von der Mitte der einen Schmalseite der Schiefertafel, während der gewöhnliche Conductor von Eichenholz in einem Abstand von 60 Mm von der Mitte der andern Schmalseite der Schiefertafel aufgesetzt wurde.

Die S-Werte in dieser Versuchsreihe sind in nachfolgender Tabelle verzeichnet.

Tabelle 21.

		Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Fallhöhe in Mm	S	
Erste Reihe	a) Tafel im Rahmen	2,7	3,5	5,64	(die gewöhnlichen Versuchsbedingungen)
	b) Rahmen durch Tuch unterstützt . .	3,4	2,5	5,84	
	c) Tafel ohne Rahmen durch Tuch unterstützt .	1,58	3,5	3,30	
	d) Tafel ohne Rahmen auf den Tisch gelegt	3,4	6,0	9,79	
Zweite Reihe	e) Tafel im Rahmen	2,4	5,0	6,84	
	f) Rahmen durch Tuch unterstützt . .	5	1,6	6,60	

Wegen der ausserordentlichen Verbreitungsfähigkeit der Schallschwingungen sind, wie man leicht sieht, unsere Versuchsbedingungen bei der Bestimmung der akustischen Dynamie sehr verwickelte; die Messung der Einzeleinflüsse würde wiederum zahlreiche Versuchsreihen voraussetzen. Bei der Versuchsanordnung c (Tab. 21) ist entweder die Schwingungsfähigkeit der Tafel am grössten, oder der Schallverlust durch Abgabe von Schwingungen an die Unterlage am geringsten, bei Anordnung d aber verhält es sich umgekehrt u. s. w.

Um den Uebergang der Schwingungen der Zinnplatten auf das Holz des Tisches zu bestimmen, wurde die Aufschlagstelle der Fallkugeln wie in den Versuchen der Tabelle 20 gewählt, aber der Eichenconductor auf den Tisch in 5 Mm Abstand von der andern Schmalseite der Zinnplatten gestellt und bei 3 Platten *S* bestimmt.

Tabelle 22.

Platte	Gewicht der Fallkugel	Fallhöhe Mm	S
VI	74 Mg	8	305
IV	56 »	3	117
I	17,5 »	12	94

Es gehen also verhältnismässig starke Schallschwingungen von der Zinnplatte auf den Tisch über, wie die Vergleichung obiger S mit denen der Tab. 20 ergiebt.

In einer weiteren Versuchsreihe, angestellt mit der Schieferphonometertafel und dem Eichenholzconductor, erhielt ich als schwächsten hörbaren Schall beim Aufsetzen des Conductors auf die Schiefertafel selbst (also bei den gewöhnlichen Versuchsbedingungen) S = 6,2 (2,4 Mg Fallgewicht). Wurde der Conductor nicht auf die schwingende Platte, sondern auf den Tisch selbst (in die Nähe der Platte) gestellt, so verlangte der schwächste hörbare Schall durch Auffallen des 3,7 Mg schweren Bleikügelchens auf die Schieferplatte ein S von 21,7.

Unter den Tab. 21 Rubrik f erwähnten Versuchsbedingungen war, wie oben angegeben, S = 6,60; beim Aufsetzen des Conductors auf den Tisch aber 68,1 (Gewicht 17,5 Mg — Fallhöhe 10 Mm). Demnach kann es nicht auffallen, dass der durch ein gehörig grosses s erregte Schall der Schiefertafel noch mit dem auf dem Zimmerboden aufgesetzten Conductor wahrgenommen

werden kann. Bei diesen Versuchen mit relativ starken Geräuschen muss man sich selbstverständlich vorher vergewissern, dass der Schall nicht etwa auch aus der Luft gehört wird, wenn man das eine Ohr verstopft und auf das zweite den Conductor andrückt, dessen anderes Ende aber frei in die Luft hinausragt.

Durch Aufhängen der Phonometerplatte mittelst dünner Drähte, die an der Zimmerdecke oder sonstwie zu befestigen wären, würde die Mitteilung der Schwingungen der Platte auf ihre Umgebung möglichst erschwert werden. Versuche derart habe ich unterlassen, da die entsprechenden Anordnungen nicht leicht herstellbar sind.

Das vereinfachte Phonometer, Modell I (§ 7), benützte ich noch zu folgenden Versuchen. Der S-Wert beim Fallenlassen eines Bleikügelchens auf den einen kurzen, senkrechten Cylinder war 7,85; wurden auf den andern senkrechten Cylinder zwei Eichenholzklötze von etwas über 2400 Gr Gewicht gelegt, so war $S_1 = 9{,}16$.

An einem andern Tag war der S-Wert 7,40; wurde ein Eichenklotz von 1200 G zwischen den einen senkrechten Cylinder und den Conductor D auf die Platte A des Phonometers gelegt, so war $S_1 = 7{,}97$.

In der A-Rubrik der nachfolgenden Tabelle wurde ein 10 Cm langer Tannenholzcylinder von 3 Cm Durchmesser auf die Schieferphonometertafel gestellt und auf das obere Ende des Cylinders eine kleine Schieferplatte gelegt von 3 Cm Durchmesser und derselben Dicke, wie die Schieferphonometertafel. Die kleine Schieferplatte wurde durch Fallkügelchen erschüttert, und der Schall in gewöhnlicher Weise durch den auf die Phonometerplatte gestellten Eichenholzconductor gehört.

In der B-Rubrik war dieselbe Versuchsanordnung mit der Ausnahme, dass statt der kleinen Schieferplatte eine Schiefertafel (von den Dimensionen der gebrauchten Phonometerplatte) auf den Holzcylinder gestellt wurde.

Tabelle 23.

Tag	Dynamiebestimmungen			A			B		
	Fallgewicht	Fallhöhe	S	Fallgewicht	Fallhöhe	S_1	Fallgewicht	Fallhöhe	S_2
1	2,7	6	7,58	3,4	6	9,79	4,35	6	12,53
2	2,7	7	8,40	4,35	4	9,87	4,35	8,4	15,26

Bei der Bestimmung der akustischen Dynamie wird zwischen die Phonometertafel und das Ohr ein Conductor gebracht. Wird das Ohr direkt auf die Phonometertafel gelegt, so ist — wegen des Wegfalls sowohl der innern Widerstände des Conductors als eines Uebergangswiderstandes — eine geringere Schallstärke im Stande, eine Schwellenempfindung hervorzurufen.

Benützt wurde zu den nachfolgenden Versuchen die gewöhnliche Zinnplatte von 2406 G Gewicht und der gewöhnlich gebrauchte massive Eichenholzconductor mit Messingplatte am untern Ende.

Tabelle 24.

Tag	Ohr direkt auf die Zinnplatte gelegt — S_1-Werte (a)	Gewöhnliche Dynamiebestimmung S-Werte (b)	b—a
1	14,07	17,61	3,54
2	11,56	15,93	4,37
3	8,59	12,18	3,59
			Mittel: 3,83

Der Conductor würde somit — bei den gegebenen Versuchsbedingungen und der ursprünglichen geringen Schallstärke — den Schall (einen der zwei Uebungswiderstände mit eingerechnet) um 3,8 s schwächen. In einer andern Versuchsreihe, die direkt die Schwächung im Conductor bestimmte, wurde dagegen der Wert zu 6,2 bestimmt. Bei dem Dynamieversuch mit dem Conductor muss ebensoviel Schall in das Ohr des Beobachters übergehen, als beim direkten Auflegen des Ohres auf die Zinntafel, da ja in beiden Fällen eine gerade noch merkliche Hörempfindung eintritt.

---

§ 18. Einfluss der Länge des Conductors.

Die hier zu untersuchende Frage wird uns im zweiten Teil dieser Schrift ganz vorzugsweise beschäftigen, in welchem es sich um den erschöpfenden Nachweis des Gesetzes der Schallschwächung bei der Fortpflanzung des Schalles durch starre Medien von gleichbleibendem Querschnitt handelt. Es wird dort in zahlreichen Versuchsreihen nachgewiesen, dass der Schall durch die Längen-

einheit des leitenden Mediums von gleichbleibendem Querschnitt) jeweils genau um denselben absoluten Betrag abgemindert wird.

Betrachten wir hier die Frage ausschliesslich vom Standpunkt der phonometrischen Technik und in Hinsicht auf eine Principienfrage der Phonometrie, die am besten hier erörtert wird, d. h. ob die Veränderungen des Dynamiewertes (S) von Einfluss auf die Messungen des Schalleitungsvermögens der Körper sein können.

Bei den in § 12 erwähnten Dynamiebestimmungen an der Schiefer- und den beiden Zinntafeln wurde immer derselbe 20 Cm lange Conductor von Eichenholz benützt; jene Dynamiewerte sind aber Endmittel aus, an mehreren Tagen durchgeführten, Versuchsreihen, in welchen die Feinhörigkeit nicht constant war und sein konnte.

Vergleichen wir nun die Messungsresultate zweier (neuer) Versuchsreihen, die an der 2406 Gr schweren Zinnplatte gewonnen wurden. Im Endmittel aus 4 Versuchsreihen war S = 19,08 Milligrammillimeter. Die Versuche der nachfolgenden Tabelle unter genau denselben Bedingungen (Conductorlänge 20 Cm) ergaben am ersten Tag S = 19,1, am zweiten 13,4. Der Unterschied der S-Werte ist gross genug, um die uns vorliegende Frage beantworten zu können. Wir haben zu dem Zwecke an derselben Phonometerplatte Conductoren von verschiedener Länge anzuwenden; ich benützte solche von 4—20—40 und 60 Cm. Die runden Cylinder waren aus Eichenholz gefertigt, der Durchmesser betrug jeweils 3 Cm, am einen Ende befand sich (zur bequemeren Anlegung des Ohres) eine 5 Mm dicke Platte von 4 Cm Durchmesser. Platte und Cylinder waren, wie bei meinem gewöhnlichen Eichenholzconductor, aus einem Stück verfertigt.

Tabelle 25.

Schallquelle: gewöhnliches Zinnphonometer.

	Conductor 4 Cm			Conductor 20 Cm			Conductor 40 Cm			Conductor 60 Cm		
	Fallgewicht Mg	Fallhöhe Mm	S	Fallgewicht Mg	Fallhöhe Mm	S	Fallgewicht Mg	Fallhöhe Mm	S	Fallgewicht Mg	Fallhöhe Mm	S
Erster Versuchstag	4,24	7,1	13,5	4,24	12,8	19,1	4,24	17,1	22,6	4,24	20,6	25,3
Zweiter Versuchstag	3,0	6,3	8,88	3,0	12,7	13,4	3,0	20,0	17,56	3,0	27,0	20,97

Der Exponent ε der Fallhöhe ist experimentell auf 0,59 bestimmt.

Zur Berechnung der vorliegenden wenigen Versuche reicht ein einfaches Verfahren hin. Die Differenzen der Conductorlängen und der Schallstärken lassen je die nachfolgenden 6 Combinationen zu.

Tabelle 26.

Differenzen der Conductorlängen in Cm	Differenzen der *S*-Werte	
	erster Tag	zweiter Tag
16	5,6	4,56
36	9,1	8,86
56	11,8	12,09
20	3,5	4,16
40	6,2	7,57
20	2,7	3,41
Summe 188	38,9	40,6 (Mittel beider *S*-Summen 39,75).

Trotz der bedeutenden Verschiedenheit der akustischen Dynamien an beiden Versuchstagen macht sich doch der schallschwächende Einfluss des Materiales des Conductors in genau demselben absoluten Betrage geltend; der Grad der Feinhörigkeit, der jeweilige Wert der akustischen Dynamie, ist somit ohne bemerkbaren Einfluss auf die Bestimmung der Schwächung, welche der Schall bei dessen Durchgang durch Leiter erleidet.

Nebenbei mag noch bemerkt werden, dass aus $\frac{39,75}{188}$ sich der Schluss ergiebt: 1 Cm eines Eichenholzcylinders von 3 Cm Durchmesser schwächt den in der Zinnphonometertafel (von den angegebenen Dimensionen u. s. w.) durch das Herabfallen von Bleikügelchen erzeugten schwachen Schall um den absoluten Betrag von 0,211 Schallstärkeeinheiten (der betreffenden Schallquelle).

---

§ 19. Einfluss des Querschnittes des Conductors.

a) Abänderungen des unteren Conductorendes.

Die Form des zwischen dem Ohr und dem Phonometer befindlichen massigen Conductors kann auf das Mannigfaltigste abgeändert werden, ohne dass die Schalleitung merklich beeinflusst

wird, vorausgesetzt, dass das Gewicht des Conductors annähernd gleich bleibt. Die nachfolgenden Versuche wurden an demselben Versuchstag mit cylindrischen Conductoren von Eichenholz an der Schieferphonometertafel angestellt. Die Länge der Conductoren war immer 20 Cm, der Durchmesser 3 Cm; an dem oberen auf das Ohr gesetzten Ende war der Conductor mit einer 5 Mm dicken, kreisförmigen Scheibe von 4 Cm Durchmesser versehen. Sämtliche Conductoren waren je aus einem Stück gefertigt.

Das untere Ende der Conductoren, d. h. die Berührungsfläche mit der Schiefertafel, zeigte beträchtliche Verschiedenheiten. Sie war immer kreisförmig (und in I—IV der Tabelle 27 eben), jedoch von sehr verschiedenem Querdurchmesser, so dass in II—IV das Endstück des Conductors sich konisch verschmälerte (s. Fig. 4, D, E pag. 32). Die Durchmesser der schmäleren unteren Endflächen sind in der Tabelle angegeben. Nro. I hatte die Form des gewöhnlichen Eichenholzconductors. Conductor V hatte am unteren Ende eine kreisförmige Concavität von (in der Mitte) 5 Mm Tiefe, so dass nur der (9,4 Cm betragende) Kreisumfang auf der Schiefertafel aufstand. Sämtliche Vexierversuche verliefen fehlerfrei. Zu allen Versuchen diente ein 3,7 Mg schweres Fallkügelchen.

Tabelle 27.

Conductor		Fallraum in Mm	S	Anzahl der Versuche			Anzahl der Vexier-Versuche
Durchmesser des unteren Endes in Cm	Verhältnismässiger Querschnitt des unteren Endes des Conductors			Richtig empfunden	Nicht gehört	Zweifelhaft	
I) 3	100	5	9,56	7	—	—	3
		4	8,40	4	—	—	1
		5	7,07	3	4	1	1
II) 2	45	4	8,40	6	—	—	2
		3	7,07	7	1	2	2
III) 1	11,4	4	8,40	5	1	—	2
		3	7,07	4	2	2	1
IV) 0,3	1	4	8,40	5	—	1	1
		3	7,07	7	1	2	2
V) Concave untere Fläche	—	4	8,40	6	—	1	2
		3	7,07	7	2		3

In der nachfolgenden Versuchsreihe wurde das Hören durch den gewöhnlichen massiven Conductor (I der vorigen Tabelle) verglichen mit zwei anderen runden cylindrischen Conductoren VI und VII, die wiederum 3 Cm Durchmesser hatten, aber 2 Cm oberhalb des unteren Endes sich zu verschmälern begannen und in zwei dachförmig sich abstutzende Flächen ausliefen, so zwar, dass Conductor VI in einer linearen, 3 Cm langen, scharfen Kante endete (s. Fig. 4, B, pag. 32), während diese Kante bei Conductor VII durch eine, wiederum 3 Cm lange, aber 3 Mm breite Endfläche ersetzt war. (Fig. 4, C.) Auch hier verliefen die Vexierversuche fehlerlos.

Tabelle 28.

Conductor	Gewicht des Bleikügelchens in Mg	Fall-raum in Mm	S	Anzahl der Fallversuche			Anzahl der Vexier-Versuche
				richtig empfunden	nicht gehört	zweifelhaft	
I. s. Tabelle 27	3,7	5	9,56	2	—	—	1
	»	4	8,40	3	—	—	—
	»	3	7,07	6	1	1	2
VI. Lineare Berührung von 3 Cm Länge	3,7	4	8,40	5	—	—	1
	»	3	7,07	5	3	—	1
VII. 3 Cm lange und 3 Mm breite Berührungsfläche	3,7	4	8,40	6	1	—	2
	»	3	7,07	4	2	—	—

Die Conductoren I, VI und VII zeigen somit, trotz der grossen Verschiedenheiten ihrer unteren Enden, keine Verschiedenheit in der Leitung des Schalles. Wenige vereinzelte Ausnahmsfälle können nicht in Betracht kommen. Das *S* bewegt sich bei allen Conductoren um den Wert 8,40.

Conductoren mit sehr schmalem unterem Ende sind zu gewissen akustischen Versuchen, sowie für die ärztliche Praxis sehr zu empfehlen, da sie gestatten, die Schallschwingungen starrer Körper von einer sehr beschränkten, beliebig configurierbaren, Fläche dem Ohr zuzuführen. Ratsam wäre, um die Zahl der Instrumente nicht zu sehr zu vermehren, die Anfertigung von etwa 3 Cm langen Endstücken der Conductoren III und VI, welche an die gewöhnlichen Conductoren angeschraubt werden könnten.

b) Abänderungen des Querschnittes im Verlauf des Conductors.

Zur Prüfung dieses Einflusses dienten massive Conductoren von Mehlbeerbaumholz und von gleicher Länge (20 Cm). Der

eine (a) hatte die gewöhnliche Form, mit überall gleichgrossem Durchmesser (3 Cm) und einer dünnen Ohrplatte von 4 Cm Durchmesser; der zweite (b), ebenfalls aus einem Stück gedreht, hatte in seinem unteren Drittel 3, dem mittleren 2 und dem oberen Drittel 1 Cm Durchmesser; das 1 Cm dicke Stück ging in eine einige Mm dicke Platte (von 4 Cm Durchmesser) zur Anlegung des Ohres über. Als Phonometerplatte diente eine Eisentafel. Das Fallgewicht war 7 Mg schwer. Alle sonstigen Versuchsbedingungen waren wie in den vorhergehenden Versuchen. Das S betrug bei dem Conductor a 22,05, bei b 13,37 als Endergebnis einer allerdings nur kleinen Versuchsreihe. Auch hätten die Conductorformen noch mehr variiert werden müssen, um zu sicheren Endresultaten zu gelangen.

In den oben, unter a) angeführten Versuchen, in welchen das untere Conductorende verschiedene Formen erhielt, variierte das Gewicht der Conductoren so wenig, dass ihre Gewichtsunterschiede selbst in zahlreichen Versuchen sich kaum geltend machen könnten. Die jetzt in Rede stehenden Conductoren zeigten aber grosse Gewichtsunterschiede; a war 108, b $58^1/_2$ G schwer. Wenn aus den wenigen Versuchen Schlüsse gezogen werden dürfen, so wäre zu folgern: dass 1) der erwähnte Formunterschied beider Conductoren nicht von Einfluss auf die Leitung ist, wohl aber 2) ihr Gewichtsunterschied. Der leichtere Conductor kann durch ein kleineres Gewicht erschüttert werden, als der schwerere. Man hätte $\frac{22{,}05 - 13{,}37}{108 - 58{,}5}$, d. h. 1 G Mehlbeerbaumholz würde den (ursprünglich schon schwachen) Schall um 0,18 s MilligrMillimeter (der Eisenphonometerplatte abmindern.

---

§ 20. Massive und hohle Conductoren (Stethoskope).

Die oft besprochene Frage, ob massive oder hohle Stethoskope den Schall besser leiten, kann nur der Phonometerversuch sicher entscheiden, da es sich, wie schon die gewöhnliche Erfahrung beweist, nur um, wenigstens in praktischer Hinsicht, geringfügige Unterschiede handeln kann. Der im vorigen § erwähnte,

massive Conductor a von Mehlbeerbaumholz wurde verglichen mit einem hohlen, überall gleichlumigen Conductor c von demselben Stoff. Die Lichtung des letzteren betrug 3 Cm, die Wanddicke 3 Mm; die dünne Ohrplatte (von 4 Cm Durchmesser) hatte in ihrer Mitte ein rundes Loch von 1,5 Cm Durchmesser. In einigen Versuchen der nachfolgenden Tabelle wurde mit winzigen Fallkügelchen und sehr grossen Fallräumen experimentiert.

Tabelle 29.

	Massiver Conductor			Hohler Conductor		
	Fallgewicht in Mg	Fallraum in Mm	S	Fallgewicht in Mg	Fallraum in Mm	S
Schieferplatte	3,4	3,5	7,12	3,4	1,5	4,28
	1,6	15	7,9	1,6	10	6,22
				0,5	85	6,88
			Mittel: 7,51			Mittel: 5,79
Eisenplatte	7	3,5	14,63	7	1,5	8,82
	7	3,5	14,63	7	2	10,50
	7	3	13,37	7	1,7	9,59
				7	3,5	14,63
			Mittel: 14,21			Mittel: 10,89

Demnach besteht ein an sich nicht unerheblicher Unterschied — der jedoch, wie erwähnt, für die auscultatorische Praxis wenig in Betracht kommen kann — zu Gunsten der hohlen Stethoskope.

Ich muss, wenigstens zu physikalischen Versuchen, gleichwohl dem massiven Conductor wegen seiner viel einfacheren Schallleitungsbedingungen den Vorzug geben.

Die Theorie legte der Schalleitung durch die Luft des Stethoskopes von jeher eine gewisse Bedeutung bei; über die Grösse dieses Einflusses waren freilich die Ansichten sehr geteilt, wie es auch nicht anders sein konnte, da man nicht im Stande war, die Schallstärke zu messen.

Da die Schwingungen einer Hautstelle, an die das Stethoskop angedrückt wird, nach allgemeinen akustischen Normen, sehr schwer in die Luft des Stethoskops übergehen, so frägt es sich, ob die Schalleitung durch die Luft des Stethoskops gegenüber der durch das Holz überhaupt nur in Betracht kommen kann. Die Möglichkeit des Ueberganges der Schwingungen des Holzes des Stethoskopes in die von letzterem eingeschlossene Luft sollte übrigens experimentell geprüft werden.

Die an der Eisenphonometerplatte früher bestimmten *S* waren:

Tabelle 30.

Conductor	Gewicht des Conductors	S
a massiv	108 G	22,05
b ungleich dick	58½	13,37
c hohl	54	10,89

Die Vermutung liegt nahe, dass die Unterschiede der S-Werte ausschliesslich oder doch grossenteils von der Verschiedenheit der Gewichte der Conductoren abhängen könnten. Ich liess deshalb einen hohlen, überall gleichlumigen, Conductor aus Mehlbeerbaumholz anfertigen, der ein etwas grösseres Gewicht, wie der massive (a) erhalten sollte. Statt dessen bekam ich einen solchen von 104 G, der also 4 G leichter war, als der massive, was aber immer noch hinreicht zur Beantwortung unserer Frage. Die Länge betrug 20 Cm, der Durchmesser 32 Mm in der Lichtung, die Wanddicke 6 Mm. Die zum Anlegen des Ohres bestimmte Platte hatte 5 Cm Durchmesser und in ihrer Mitte ein rundes Loch von 15 Mm Durchmesser.

Die Zahlen der nachfolgenden Tabelle bedeuten die absoluten Zahlen der Einzelversuche. Die Versuche sind genau in ihrer zeitlichen Reihenfolge aufgeführt; bei jeder einzelnen einem bestimmten s entsprechenden Versuchsabteilung (horizontale Linien) wurde abwechselnd je mit dem massiven und hohlen Cylinder experimentiert.

Tabelle 31.

Schallstärke Fallgewicht Mg	Schallstärke Fallhöhe Mm	s resp. S	Massiver Cylinder Richtig	Massiver Cylinder Falsch	Massiver Cylinder Unentschieden	Hohler Cylinder Richtig	Hohler Cylinder Falsch	Hohler Cylinder Unentschieden	
4,35	3	8,31	2	—	—	2	—	—	Erster Tag A (Nachmittag). Sämtliche 5 Vexier-Versuche richtig.
»	2,5	7,48	2	—	—	2	—	—	
»	2	6,42	2	—	—	3	—	—	
3,4	3	7,00	4	2	2	7	1	—	
»	2,5	5,85	4	—	—	4	—	—	
2,7	2,5	4,86	—	2	—	—	2	—	
»	3	5,16	4	—	—	3	—	—	
3,4	3	7,00	2	—	—	2	—	—	Nächster Tag B (Vormittag). Sämtliche 15 Vexier-Versuche richtig.
»	2	5,10	3	—	—	3	—	—	
2,7	3,5	5,64	4	—	—	4	1	—	
»	3	5,16	3	—	—	4	—	—	
»	2,5	4,86	6	2	—	7	—	1	
»	2	4,05	3	1	2	5	2	—	

Obige zwei kleinen Versuchsreihen, in welche auch einige s, also übermerkliche und untermerkliche Werte aufgenommen sind, genügen immerhin, um die Frage vorläufig zu beantworten.

Die S-Werte betragen etwa 5,8 in beiden Reihen; merkliche Unterschiede sind kaum vorhanden; es kann demnach mit Sicherheit behauptet werden, dass hohle Stethoskope den Schall nicht besser leiten, als gleichschwere massive.

In einer viel später angestellten Versuchsreihe wurde die Frage unter anderen Versuchsbedingungen untersucht. Die Versuche wurden in einer die Hörschärfe begünstigenden Tageszeit (Vormittags) angestellt; eine halbstündige Pause fiel in die Mitte der Versuchszeit.

Zur Vergleichung wurden die nachfolgenden Conductoren und Stethoskope benützt:

1) Der gewöhnliche nicht polierte, massive Eichenholzconductor.

2) Ein poliertes Stethoskop, dessen Rohr aus Zwetschgenholz und dessen Platte aus Horn bestand. Länge 15 1/3 Cm, Gewicht 37 G. Die Ohrplatte hatte einen Durchmesser von 53 Mm und war nach oben sehr schwach concav. Das Lumen des Rohres betrug in dem oberen Drittel und etwas darüber hinaus 7 Mm und erweiterte sich etwa 9 Cm von der oberen Oeffnung an allmählich trichterförmig, so dass der Durchmesser der unteren Oeffnung 25 Mm betrug.

3) Ein aus Mehlbeerbaumholz bestehendes poliertes Stethoskop, dessen Ohrplatte samt dem obersten Teil des Rohres abgeschraubt werden konnte. Länge 16 Cm, Gewicht 42 G. Die Ohrplatte hatte 53 Mm Durchmesser und eine Concavität von 30 Mm Durchmesser. Das Lumen des Rohres betrug überall 7 Mm und nahm erst 10 Mm oberhalb der, nahezu 2 Cm breiten, unteren Mündung rasch zu. Von jedem der beiden Stethoskope wurde ein offenes und ein, im obersten Teil des Rohres durch einen 2 Cm langen Papierpfropfen dicht verstopftes, Exemplar benützt.

Es waren also 5 verschiedene Versuchsanordnungen zu prüfen. Um von den Schwankungen der Hörschärfe möglichst unabhängig zu sein, wurden 6 Versuchsreihen angestellt, in welchen die 5 Fälle der Reihe nach in jeweils 3, ausnahmsweis auch 6, Einzelversuchen geprüft wurden. Das Fallgewicht war in allen Versuchen 4,35 Mg schwer; die Fallhöhen variierten zwischen 9 bis 6 Mm. Als Phonometertafel diente die 2406 G schwere Zinnplatte (s. pag. 27). Die Versuche sind in Tab. 32 so aufgeführt, dass ihre Aufein-

anderfolge leicht übersehen werden kann; die Tabellenzahlen geben die Zahlen der Einzelversuche.

Tabelle 32.

	Versuchsreihe	Fallhöhe Mm	S resp. s	Fallversuche			Vexierversuche		S (Mittel)
				Richtig	Falsch	Zweifelhaft	richtig	falsch	
Stethoskop von Zwetschgenholz, verstopft.	1	9	15,92	3					
	2	8	14,83	3					
	3	7	13,70	3	1		2		S bei 14,27
	4	7,5	14,27	2			1		
	5	7,5	14,27	2			1		
	6	7	13,70	1			2		
Stethoskop von Zwetschgenholz, offen.	1	9	15,92	3					
	2	8	14,83	3					
	3	7	13,70	4			2		S bei 13,70
	4	6,5	13,12	2			1		
	5	6,5	13,12	2	1				
	6	6,5	13,12	1	1	1			
Eichenholzconductor	1	9	15,92	3					
	2	8	14,83	1	1		1		
	3	7	13,70	2	1		3		S bei 15,92
	4	8,5	15,35	1	2				
	5	8,5	15,35	2			1		
	6	9	15,92	2			1		
Stethoskop von Mehlbeerbaumholz, offen.	1	8	14,83	3					
	2	7	13,70	3			3		
	3	6,5	13,12	2			1		S bei 13,12
	4	6,5	13,12	2			1		
	5	6,5	13,12	2			1		
	6	6	12,53	1	2				
Stethoskop von Mehlbeerbaumholz, verstopft.	1	8	14,83	3					
	2	7	13,70	3	1		2		
	3	7,5	14,27	2				1	S bei 14,27
	4	7,5	14,27	2					
	5	7	13,70	2	1				
	6	7	13,70	3					

Demnach leitet der Eichenholzconductor den Schall weniger gut, als die beiden Stethoskope. Die Verstopfung des Stetho-

skopes schwächt die Leitung etwas, jedoch jedenfalls nur um einen für die auscultatorische Praxis unerheblichen Betrag. Die etwas grössere Schwächung bei dem verstopften Stethoskop könnte durch eine Behinderung der Schwingungen der Holzmasse durch den Papierpfropfen und nicht durch den Wegfall der zweifelhaften Luftleitung zu erklären sein. Die Zusammensetzung des Stethoskopes aus zwei Materialien (wie oben beim Stethoskop aus Zwetschgenholz) scheint den Schall, infolge von kleinen Uebergangswiderständen, ein wenig mehr zu schwächen, als ein nur aus einem Stoff hergestelltes Stethoskop.

Ich prüfte diese Verhältnisse des Weiteren noch dadurch, dass in das oben erwähnte Stethoskop von Zwetschgenholz ein, die Lichtung ihrer ganzen Länge und Breite nach ausfüllendes, massives Stäbchen eingeschoben wurde. Die Leitung wurde abwechselnd bei offenem und bei verstopftem Rohr beobachtet. In jede der mit 1 bis 8 nach ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge bezeichneten Versuchsreihen fielen 6 oder 12 Versuche.

Die Vexierversuche, mit immer richtigen Entscheidungen, sind weggelassen. Man sieht aus der Tabelle, dass die Hörschärfe allmählich etwas abnimmt (s. § 12). Ich bemerkte dabei deutlich, dass ich mir einen gewissen Zwang auferlegen musste, dem Schall die volle Aufmerksamkeit zu widmen. Reihe 1—7 nahm eine starke halbe Stunde in Anspruch; Reihe 8 folgte auf 7 nach 10-minutlicher Pause. Die 2406 G schwere Zinntafel diente als Phonometerplatte. Fallgewicht in allen Versuchen 4,35 Mg; die Fallhöhen schwankten zwischen 10 und 8,5 Mm. Die Tabellenzahlen bedeuten die absoluten Zahlen der Einzelversuche.

Tabelle 33.

Versuchsreihe	Fallhöhe Mm	S resp. s	Hohles Stethoskop			Verstopftes Stethoskop		
			Richtig	Falsch	Zweifelhaft	Richtig	Falsch	Zweifelhaft
1	10	16,92	3	—	—	3	—	—
2	9	15,92	3	—	—	3	—	—
3	8	14,83	5	1	—	5	1	—
4	8,5	15,35	2	4	—	4	2	—
5	8,5	15,35	5	1	—	1	5	—
6	8,5	15,35	3	2	1	3	2	1
7	9	15,92	5	1	—	2	4	—
8	10	16,92	6	—	—	6	—	—

Wie in der früheren Versuchsreihe ist der Unterschied zu Gunsten des hohlen Stethoskops der Tabelle zufolge sehr gering und überhaupt nur in den Reihen 5 und 7 angedeutet. Durch das eingeschobene Stäbchen wurde das Gewicht des Stethoskops von 37 auf 58 G erhöht; eine grössere Anzahl von Versuchen könnte wohl zum Schluss führen, dass der Unterschied der S in Tabelle 33, zum Teil wenigstens, durch die Gewichtszunahme bei der Verstopfung des Conductors zu erklären sei. Eine unter diesen Versuchsbedingungen um wenige MgMm geringere Schallschwächung durch hohle Conductoren kann bei der ärztlichen Auscultation kaum in Betracht kommen; der unbedeutende Vorteil hohler Stethoskope besteht demnach bloss darin, dass der Arzt einen ein wenig leichteren Apparat bei sich zu führen hat.

---

§ 21. Das Schallpendel.

Pendulierende Hämmer, welche gegen eine schwingungsfähige Platte anschlagen, wurden schon öfters zur Erzeugung von Schallen oder Tönen von veränderlicher Stärke angewandt. Der Pariser Ohrenarzt Itard benützte vor 50 Jahren einen solchen (Akumeter von ihm genannt) zur Prüfung der Gehörsempfindlichkeit von Kranken; Volkmann, sowie Kohlschütter (auf Fechner's Veranlassung) änderten ihn zu physiologischen Zwecken ab. Physikalische Versuche sind meines Wissens mit demselben bisher noch nicht angestellt worden.

Für die Zwecke der ärztlichen Percussion würde der Apparat als »Percussionspendel« meines Erachtens grosse Vorteile bieten.

Die Percussion erregt durch Anklopfen an den verschiedensten Stellen der Körperoberfläche Schalle, die über die Beschaffenheit der darunter liegenden Teile Aufschluss geben. Der grosse Erfinder dieser Untersuchungsmethode, L. Auenbrugger (1761), benützte die zusammengelegten Finger zum unmittelbaren Beklopfen des zu untersuchenden Körperteiles. Seine Nachfolger legten einen Finger der linken Hand, oder (Piorry 1826) eine kleine Platte, das Plessimeter, auf die Haut, welche zunächst den Stoss des klopfenden Fingers aufzunehmen hatte. Wintrich (1841) empfahl zuerst den Percussionshammer, welcher, da er gleichmässigere

Schallstärken als die früheren Verfahrungsweisen erzielt, einen unleugbaren Fortschritt in dieser Untersuchungsmethode herbeiführte. Baas (1872) setzte schwingende Stimmgabeln auf die Haut, deren Ton, je nach der Beschaffenheit der unterliegenden Teile, in verschiedenem Grade, oder gar nicht, durch Resonanz verstärkt wird. Der Percussionsschall wird fast immer auf gewöhnlichem Wege, durch die Luft, gehört und beurteilt; von Vorteil ist in vielen Fällen aber die Beobachtung desselben mit dem Hörrohr.

Die ersten grundlegenden Versuche zur wissenschaftlichen Deutung der ärztlichen Percussionsschalle verdanken wir vor Allem Skoda, Wintrich und Seitz in Verbindung mit Zamminer. Skoda ist zuerst bestrebt gewesen, die percutorischen Zeichen auf ihre objektiven, physikalischen Ursachen zurückzuführen. Immerhin sind wir aber, was von jedem Vorurteilsfreien bereitwillig zugestanden wird, noch weit, sehr weit von einer genügenden Einsicht in die hier massgebenden physikalischen Bedingungen der Erscheinungen entfernt.

Percussionsschalle von genau abgestufter und akustisch messbarer Stärke wurden bisher noch nicht verwendet. Diese Lücke soll das Percussionspendel ausfüllen und damit, wie ich hoffe, auch eine bessere Deutung der Thatsachen vorbereiten helfen.

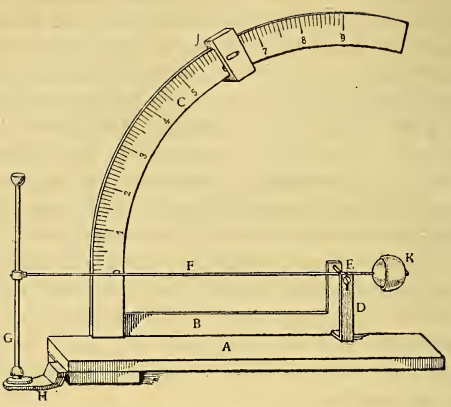
Man könnte das Phonometer zu dem vorliegenden Zwecke benützen, und die Fallkugel auf eine, an den zu untersuchenden, wagrecht liegenden Körperteil angedrückte, schwingungsfähige Platte fallen lassen. Zur Messung des Schalleitungsvermögens der Körperteile finde ich gerade dieses Verfahren sehr geeignet; aber zur Erregung von Percussionsschallen ist es, aus naheliegenden praktischen Gründen, nicht empfehlenswert.

Mein kleines Schallpendel hat folgende Einrichtung:

Eine etwa 130 Mm lange, 30 Mm breite und 5 Mm dicke Eichenholzplatte A (Fig. 9) dient als Träger; auf den einen Längsrand der letzteren ist eine 95 Mm lange, etwa 12 Mm hohe Messingplatte B angeschraubt, welche mit dem in Grade (von 0 bis 90) geteilten Quadranten C ein Stück bildet. Auf B ist der Bügel D angeschraubt, der Träger der wagrechten Achse E des wenig über 100 Mm langen stählernen Schallpendels F, das in der Mitte des cylindrischen Hämmerchens G von etwa 15 Mm [1]) Höhe und 6 Mm Durchmesser eingefügt ist. Das Hämmerchen kann aus Holz,

1) Hier ist das Hämmerchen in der Grösse gezeichnet, in der es bei einigen Modellen vorkommt.

Fig. 9.



Elfenbein u. s. w. bestehen. Um den Schall zu schwächen und minder schrill zu machen, kann zu vielen Zwecken die Aufschlagfläche des Hämmerchens vorteilhaft mit einem dünnen Leder überzogen werden. Die Pendelachse E läuft an beiden Enden in eine feine Spitze aus, die in kleine Vertiefungen des Bügels D eingreifen, in welchen die Pendelachse ohne Reibung sich bewegt. Die mit einem vorragenden Stift versehene Hülse J ist verschiebbar und dient zur bequemen Einstellung der jeweiligen Elevation des Pendels, indem die Pendelstange bis zum Stift erhoben und dann fallen gelassen wird. Das verschiebbare Gewicht K ist nur bei einzelnen Modellen (s. § 56) vorhanden. In einen Schlitz des Trägers A kann ein wagrechtes Plättchen H eingeschoben werden, welches durch das herabfallende Pendel erschüttert wird. Dem Plättchen H wird je nach Bedarf verschiedene Form gegeben; auch das Material desselben kann abgeändert werden. Grössere Apparate mit 200 bis 300 Mm Pendellänge habe ich für bestimmte physikalische Zwecke benützt.

Je nach Bedarf wird der Träger A senkrecht oder besser wagrecht gehalten. Für die genaue Einhaltung der gewünschten senkrechten oder wagrechten Lage sorgt man durch Senkel oder kleine Libellen. Die senkrechte Lage der schallenden Fläche habe ich übrigens nie benützt; ich halte sie nicht für zweckmässig, da

das Schallpendel nach dem Aufschlagen zurückgeworfen wird, wodurch ein zweiter, ja dritter, Schall entsteht. Auch wird bei solcher Versuchsanordnung die Berechnung der Stärke des ersten Schalles erschwert oder unmöglich gemacht.

---

§ 22. Die Schallstärken des Schallpendels.

Da man bisher die Stärke des Schalles resp. Tones, der durch eine, auf eine schwingungsfähige Platte herabfallende, Kugel erregt wird, der lebendigen Kraft der Fallkugel proportional setzte, so musste auch die Annahme gemacht werden, die Schallstärke am Schallpendel stehe im Verhältnis der Vertikalhöhen, auf welche der Hammer des Pendels über seine tiefste Stelle gehoben wird.

Somit würde sich die Schallstärke verhalten 1) bei wagrechter Lage der schwingungsfähigen Platte, wie die Sinus der Elevationswinkel des Schallpendels; 2) bei senkrechter Lage der schwingungsfähigen Platte aber wie 1 minus dem Cosinus des Elevationswinkels des Schallpendels.

In seiner Psychophysik, Band I. S. 181, giebt Fechner für den letzteren Fall eine kleine Tabelle »über die Abhängigkeit der Schallstärke von der Elevation des Schallpendels«. Darnach hätte man z. B.

Tabelle 34.

Relative Schallstärke	Elevation
10 000	90°
9 128	85°
8 264	80°
7 412	75°
6 580	70°

u. s. w.

Da jedoch, wie § 8 gezeigt wurde, die durch eine, auf eine schwingungsfähige Platte aufschlagende, Kugel hervorgebrachte Schallstärke eher proportional ist der Wurzel (d. h. Potenz 0,5) der Fallhöhe, oder genauer ausgedrückt, etwa der 0,56—0,64ten Potenz der Fallhöhe, so muss auch am Schallpendel die Schallstärke der genannten Potenz der Vertikalhöhe proportional sein, um welche der Hammer des Pendels über seine tiefste

Stelle erhoben wird. Demnach sind 1) bei wagrechter Lage der schwingungsfähigen Platte die Schallstärken proportional der bezüglichen Potenz der Sinus der Elevationswinkel und 2) bei der, wie erwähnt, praktisch nicht gut verwendbaren senkrechten Lage der schwingungsfähigen Platte der erwähnten Potenz von 1 minus Cosinus des Elevationswinkels.

Man kann die Richtigkeit des soeben Gesagten am Apparat leicht prüfen; die empfundenen Schallstärken steigen, wie man sogleich erkennen muss, mit zunehmender Elevation des Schallpendels sehr viel langsamer, als die Theorie, gestützt auf apriorische Ueberlegung, früher angenommen hat.

Ueber die genaue Bestimmung des Exponenten ε der Fallhöhe s. § 10.

Obschon es sich bei unseren Versuchen nicht um den statischen Druck des auf der Aufschlagsplatte H ruhenden Percussionspendels handelt, und die Kenntnis desselben noch keinerlei Anhaltspunkte giebt über die dynamische Wirkung des Pendels, die, als von der Beschaffenheit der Aufschlagstelle des Pendelhammers und der Form und Beschaffenheit der von letzterem getroffenen vibrationsfähigen Platte abhängig, jeder Berechnung sich entzieht und somit nur auf empirischem Wege gefunden werden kann, so habe ich es doch nicht für überflüssig gehalten, auch den statischen Druck des Pendels experimentell zu bestimmen.

Das absolute Gewicht eines meiner Pendel — Apparat I — (Stahlstange samt Querachse a — a und Elfenbeinhammer n) beträgt 7,797 G. Durch Aequilibrieren des Pendels auf sehr scharfer Kante wurde die Lage des Schwerpunkts s bestimmt; s ist von a — a 80, von der Mitte des Querschnittes des Elfenbeinhammers 35 Mm entfernt. Die Distanz as + sn beträgt demnach 115 Mm. Bei horizontaler Lage des Instrumentes haben wir, wenn H = Druck des Elfenbeinhammers auf seine Unterlage, die Gleichung:

$$H \times 115 = 7{,}797 \times 80$$
$$H = 5{,}423 \text{ G.}$$

Das 7,8 G schwere Schallpendel drückt also mit einem Gewicht von 5,4 G auf seine Unterlage. Das auf seinem Achsenträger ruhende Pendel wurde so auf die Wagschale einer chemischen Wage gebracht, dass der Elfenbeinhammer auf der Mitte der Schale ruhte, sodann wurde durch Aequilibrieren mit Gewichten, die auf die andere Schale gelegt wurden, der Druck des Pendels direkt bestimmt. Dieses, aus bekannten Gründen ungenaue Zahlen angebende, Verfahren führte zu dem Werte: 5,13 G.

Bei einem anderen Fallpendel — Apparat II — ist: Gewicht 5,424 G, Abstand des Schwerpunktes von der Achse des Pendels 77,0 Mm; Abstand der Achse vom Mittelpunkt des aus Elfenbein gefertigten Pendelhämmerchens 112,4 Mm. Also ist der statische Druck des Hämmerchens auf seine Unterlage = 3,729 G.

Zur Herstellung sehr schwacher Anschläge wurde ein zweites, leicht gearbeitetes Pendel — Apparat III — benützt. Dasselbe ist wiederum von seiner Achse bis zur Mitte des Elfenbeinhammers 115 Mm lang, s ist von der Pendelachse 61 Mm entfernt. Das Pendelgewicht ist 2,334 G. Also drückt das Elfenbeinhämmerchen auf seine Unterlage mit einem Gewicht von $\frac{2{,}334 \cdot 61}{115} = 1{,}238$ G.

Eines meiner Schallpendel grösserer Dimension — Apparat IV — ist von der Achse bis zum Mittelpunkt des Querschnittes des cylindrischen Hammers 284,2 Mm lang; die Pendelstange besteht aus Stahl, der Hammer aus Messing, die Aufschlagstelle des Hammers ist wiederum mit einer dünnen Lederschicht überzogen; als Schallkörper wird eine kleine viereckige Eichenholzplatte benützt, deren Seiten 36 Mm lang sind. Der Abstand von der Achse bis zum Schwerpunkt beträgt 161, der vom Schwerpunkt bis zur Mitte des Querschnittes des cylindrischen Hammers 123,2 Mm. Das Gewicht des ganzen Pendels (Achse, Pendelstange, Hammer) beträgt 25473 Mg. Also hat man $284{,}2 \cdot x = 25473 \cdot 161$; der statische Druck (x) des Hammers auf die Unterlage ist somit 14,435 G. Diese Hämmer haben an beiden Enden zwei kurze Ansätze, die ebenso breit sind, wie die ganze Aufschlagstelle des oben erwähnten leichtesten Hammers (von 14,35 Gr Dicke). Somit haben sämtliche 3 Hämmer gleichbreite Aufschlagstellen.

Man kann auch die Einrichtung treffen, dass Gegengewichte jenseits der Achse (K, Fig. 9) die Wirkung des Pendels abmindern würden. Ich habe ein solches benützt — Apparat V —, dessen Hämmerchen mit bloss 0,197 G auf das zu erschütternde Plättchen drückt. Da zudem sowohl die untere Aufschlagstelle des (Elfenbein-)Hämmerchens, als auch das in Vibrationen zu versetzende Plättchen mit einer Schicht dünnen Leders überzogen sind, so erhält man mittelst dieses Apparats sehr schwache Schalle.

Die Schallstärken des Schallpendels können, wie gesagt, nur auf dem Versuchswege ein für allemal festgestellt werden. Handelt es sich z. B., um mich auf den einfachsten Fall zu beschränken, um Pendelschalle, die nur durch die Luft gehört werden sollen, so bestimmt man diejenige Pendelelevation, bei welcher,

unter Voraussetzung eines bestimmten Abstandes des Ohres von der vibrationsfähigen Platte, eine eben merkliche Hörempfindung eintritt. Diese Bestimmung reicht hin, 1) um die den übrigen Elevationen des Pendels zukommenden Schallstärken ohne Weiteres zu berechnen und 2) um die Schallstärken dieses Pendels mit den an den übrigen Phonometern und jeder denkbaren sonstigen Benützungsweise der letzteren unmittelbar vergleichen zu können.

Wenn es sich aber bloss um Herstellung variabeler relativer Schallstärken handelt, so genügt ein bestimmtes Pendel mit entsprechendem Hammergewicht, welches bei 3^0 bis 90^0 (Winkel unter 3^0 wären nicht zu empfehlen) Elevation, über eine genügende Breite von Schallstärken verfügen lässt.

---

§ 23. Bestimmung des Exponenten ε der Sinus der Elevationswinkel des Schallpendels.

Die experimentelle Bestimmung des Exponenten ε an diesem Apparat hat mir unvorhergesehene Schwierigkeiten bereitet. Während zu dem genannten Zwecke die Phonometerplatte durch ein grösseres Gewicht P, welches durch eine kleine Höhe h herabfällt, erschüttert wird und sodann für ein kleineres Gewicht p diejenige grössere Fallhöhe H ermittelt werden muss, welche einen Schall von derselben Stärke ergiebt, wie der durch das Aufschlagen des grösseren Gewichtes erzeugte, lässt sich der Versuch am Schallpendel in entsprechender Weise absolut nicht durchführen, d. h. zur Herstellung der Gleichheit der zwei Vergleichsschalle ein schwererer Hammer, dessen Pendel eine geringere Elevation erhält und ein leichterer Hammer mit grösserer Pendelelevation verwenden. Schon bei den verschieden schweren Fallkugeln kann die Timbreverschiedenheit der beiden Schalle einige Schwierigkeiten, namentlich dem wenig Geübten, bereiten; benütze ich aber zwei vollständig gleich gearbeitete Schallpendel, so dass das eine mit einem schwereren Hammer versehen wird, als das andere, so erhalte ich zwei Schalle von solcher Timbreverschiedenheit, dass ihre Intensität unmöglich gegenseitig verglichen werden kann.

Gleichwohl gelang es mir, den Wert von ε zu bestimmen mittelst eines abgeänderten Verfahrens, das übrigens ziemlich lange Vorübungen verlangte.

Die beiden zu dem Versuch dienenden Schallpendel sind vollständig gleich, also auch deren Hämmer von gleichem Gewicht, Dimensionen u. s. w. Der eine Schall wird dadurch hergestellt, dass man beide Hämmer genau gleichzeitig durch dieselbe Fallhöhe auf die schwingungsfähige Platte aufschlagen lässt, wobei ein einziger Schall entsteht. Sodann wird dem Pendel bloss eines dieser Apparate eine solche grössere Elevation gegeben (was durch Probieren bald gefunden ist), dass der durch das Aufschlagen seines Hammers entstehende Schall dieselbe Stärke hat, wie der durch das Doppelpendel hervorgebrachte.

Man hat also das Gewichtsverhältnis 2P : P, d. h. im Zähler der Oberbeck'schen Formel (s. pag. 43) bloss log 2. Somit ist $\varepsilon = \frac{0{,}3010}{\log \frac{H}{h}}$, wobei H und h dem Sinus der Elevationswinkel entspricht.

Die nachfolgenden Versuche zur Bestimmung des ε (an dem Schallpendelpaar III) bedürfen nach dem Gesagten keiner weiteren Erläuterung. Man sieht, dass ε gleich bleibt bei sämtlichen Elevationen des Pendels.

Schallpendel III. Pendelgewicht 25473 Mg. Statischer Druck des Pendelhammers auf die Unterlage 14435 Mg. $\frac{P}{p} = 2{,}00$ [log 0,3010].

Tabelle 35.

Kleinere Elevation beider Pendel		Grössere Elevation eines Pendels		$\frac{b^1}{a^1}$	$\log \frac{b^1}{a^1}$	ε
Elevationswinkel a	Sinuswert von a a^1	Elevationswinkel b	Sinuswert b^1			
3	0,0523	9	0,1564	2,990	0,4757	0,633
5	0,0871	16	0,2756	3,164	0,5002	0,601
10	0,1736	33	0,5446	3,138	0,4966	0,606
12	0,2079	40	0,6428	3,091	0,4901	0,614
15	0,2588	53	0,7986	3,086	0,4894	0,615
18	0,3090	70	0,9397	3,041	0,4830	0,623
					Mittel:	0,615

Bei der Berechnung der Schallstärken in meinen Versuchen über die Schwächung des Schalles in der freien Luft habe ich an-

fangs, ohne besondere Prüfung, den Exponenten der Fallhöhe zu 0,59 angenommen; die experimentelle Prüfung hat diese Zahl nunmehr in die richtigere 0,615 corrigiert, wodurch übrigens die aus den Versuchen gezogenen allgemeinen Resultate über die Schallschwächung in der Luft keine wesentliche Aenderung erleiden. Die an einem und demselben Schallpendel erregten Schalle können zunächst in Bezug auf ihre Stärke nur unter sich selbst verglichen werden; die relative Schallstärke ist somit ausgedrückt durch Num (0,615 log sin x), wobei x den Elevationswinkel des Pendels bei wagrecht gehaltener Schallplatte bedeutet. Ich führe übrigens nicht die Sinuswerte für den Halbmesser 1 (mit Abzug der Charakteristik 10) ein, setze also z. B. nicht 0,615 log sin $13^1/_2$ = 0,61459 —1, also den Numerus davon = 0,4117, sondern rechne:

$$\log \sin 13^1/_2 = 9{,}36819 \times 0{,}61 = 5{,}7145959;$$

also ist die relative Schallstärke in diesem Fall 518370, welche Zahl selbstverständlich nicht ganz, sondern etwas kürzer, etwa als 51837 in Ansatz kommt. — Wie diese Werte auf Grund von Vergleichungen mit Schallen von bekannter absoluter Stärke in absolute Zahlen umgerechnet werden können, braucht vorerst nicht erörtert zu werden. Zur Ermittelung der Gesetze, von welchen die Schwächung des Schalles bei dessen Durchgang durch Leiter abhängt, genügt in der That die Kenntnis der relativen Schallstärken.

---

§ 24. Die phonometrische Vergleichung qualitativ verschiedener Schalle und Töne.

Bekanntlich ist die Vergleichung, beziehungsweise Gleichsetzung, zweier qualitativ verschiedener Schalle oder Töne in Bezug auf ihre Stärke eine schwierige Aufgabe für den Gehörsinn; handelt es sich gar um Töne und Klänge verschiedener Timbres und verschiedener Höhe, so wird uns die Lösung dieser Aufgabe fast unmöglich. Die Erkennung der annähernden Gleichheit zweier qualitativ nicht allzu verschiedener Schalle gelingt uns dagegen eher, wie mich mehrfache Erfahrungen belehrt haben; bei Tönen und Klängen aber dürfte diese Aufgabe — worüber ich keine Erfahrungen habe — wiederum viel schwieriger sein.

Um zu untersuchen, was unsere Sinnlichkeit in dieser Beziehung leistet, beschränke ich mich hier auf das denkbar einfachste Beispiel. In seiner, § 4 erwähnten, experimentellen Prüfung des Fechner'schen Gesetzes im Gebiete der Unterscheidungsempfindlichkeit für Schallstärken war Nörr genötigt, um auch sehr starke Schalle mittelst grösserer Fallgewichte herstellen zu können, statt der für schwächere Schalle besonders tauglichen Bleikugeln, Eisenkugeln anzuwenden. Zu Nörr's speciellem Zwecke (Prüfung der Unterscheidungsempfindlichkeit für Schallstärken in weitester Breite der Reizintensitätsskala) war gegen die Benützung von Fallkugeln andern Materials nichts einzuwenden, obschon Blei- und Eisenkugeln beim Auffallen auf eine Phonometerplatte nicht nur Timbreunterschiede der erzeugten Schalle bieten, sondern auch dadurch sich unterscheiden, dass eine Eisenkugel unter den gegebenen Versuchsbedingungen viel stärker wirkt, als eine gleichschwere Bleikugel. Die Eisenkugel hat eine 1,8mal stärkere akustische Wirkung, als die Bleikugel; selbstverständlich gilt das nur für den Fall, dass eine Eisenplatte als Schallquelle angewendet wird. Die Vergleichung der akustischen Leistungen von Kugeln, sowie von Phonometerplatten verschiedenen Materiales, die in den mannigfaltigsten Combinationen zu prüfen wären, würde einer speciellen Experimentaluntersuchung in hohem Grad wert sein.

Bei diesen Versuchen haben wir es mit verhältnismässig starken Schallen zu thun. Ich brauche kaum zu bemerken, dass wir zwei qualitativ verschiedene Schalle ohne Anstand mit einander vergleichen und deren Stärke messen können, wenn wir dieselben jeweils durch geeignete Hilfsmittel (von bekannter schallschwächender Wirkung) derartig abgeschwächt dem Ohr zuleiten, dass die entsprechenden Empfindungen bis auf die Schwelle herabgemindert sind.

---

§ 25. Vergleichung der Schallstärkemessungen verschiedener Personen. Unabhängigkeit dieser Messungen von der akustischen Dynamie der Individuen. Die allgemeine akustische Dynamie.

Die bekannte Thatsache, dass schon innerhalb des normalen Lebens verschiedene Personen mit ziemlich verschiedener Fein-

hörigkeit begabt sind, und dass selbst in demselben Individuum die Feinhörigkeit, jedoch nur innerhalb mässiger normaler Grenzen, schwankt, findet auf unserem experimentellen Gebiet ihren genauen numerischen Ausdruck dadurch, dass die allerschwächsten Geräusche, resp. Töne, welche eben noch gehört werden können, bei verschiedenen sonst normalen Personen erheblich verschiedene Werte zeigen. Eine Hörschwellenempfindung hat der eine bei sehr schwachem, der andere erst bei einem objektiv viel stärkeren Schall; die akustische Dynamie des ersteren hat — nach unserer Terminologie — einen geringen, die des zweiten einen grossen Wert. Die individuellen akustischen Dynamien bilden somit die Grundlage der Schallstärkemessungen, wobei zur unmittelbaren Vergleichung selbstverständlich immer Schalle derselben Schallquelle vorausgesetzt werden. Zwei Individuen z. B., deren akustische Dynamie 10 und 40 objektiver Schallstärke beträgt, haben eine Empfindung desselben, eben noch merklichen, Inhaltes, d. h. derselben minimalsten Intensität. Dasselbe ist der Fall bei den gut und stark oder sehr stark merklichen Hörempfindungen. Wenn die objektiven Schalle in unseren beiden Beispielen jeweils um das Vierfache verschieden sind, muss der Empfindungsinhalt der Intensität noch immer derselbe sein, also werden die Schallstärken 50 und 200 oder 90 und 360 jeweils gleichstarke Empfindungen hervorrufen.

Die Empfindungsstärken zweier Individuen können allerdings mit einander direkt nicht verglichen werden; wohl aber ihre Schwellenempfindungen, von denen wir selbstverständlich und ganz unbestreitbar annehmen müssen, dass sie gleichinhaltlich sind. Ein Schall von beliebiger Stärke kann, wie ich später durch messende Versuche zu zeigen habe, auf die Ebenmerklichkeit herabgedrückt werden, wenn wir zwischen die Phonometerplatte und den Conductor eine schallschwächende Schicht von bestimmter Wirksamkeit einschalten.

In § 38 sind Versuche mitgeteilt über die Leistungen von schallschwächenden Schichten. Schallquelle war die gewöhnlich gebrauchte Zinntafel, die durch Bleikügelchen erschüttert wurde, als Conductor diente der massive Eichenholzcylinder. Zwischen beiden wurden Schichten von Blei- und Kautschukplättchen eingeschaltet, die durch dünne Siegellacklagen miteinander verbunden waren. Je ein Blei- und Kautschukplättchen sei als Element bezeichnet. Es wurde mit verschieden dicken Schichten experimen-

tiert, die aus 1—2—4—8—16 Elementen bestanden. Das Nähere s. § 38.

Wird der Conductor unmittelbar auf die Zinntafel gestellt, so ist der schwächste Schall, den ich höre = 14,7 Milligrammillimeter (ausgedrückt selbstverständlich in Schalleinheiten des Zinnphonometers von den a. a. O. angegebenen Einrichtungen. Mein Sohn, Hermann Vierordt, der sehr viel feiner hört als ich, hat die Schwellenempfindung bereits bei 4,3 MgMm [1]). Also ist das Verhältnis beider Hörschärfen = 3,4 : 1. Die Schallschwächung wächst selbstverständlich mit der Zahl der Elemente, welche zwischen Schallquelle und Conductor eingeschaltet werden.

Aus den § 38 zu erwähnenden Versuchen lässt sich die durch 1 Element bewirkte Schallschwächung berechnen; sie beträgt für mich 4,128, für H. Vierordt 1,242. Das Verhältnis beider Werte ist = 3,3 : 1. Der Unterschied 3,4 und 3,3 könnte bei diesen, geübte Beobachter voraussetzenden, Versuchen grösser sein, als er gefunden wurde, um auch dann noch den Beweis zu liefern, dass die von zwei Beobachtern gefundenen objektiven Schallstärken (derselben Schallquelle) auf dieselbe objektive Benennung gebracht werden können. Man hat in unserem Fall die von dem Beobachter a mit grösserer akustischer Dynamie gefundene Schallstärke mit 3,3 zu dividieren, um sie auf die Schallstärkewerte des Beobachters b zu reducieren; resp. die von b gemessene Schallstärke mit 3,3 zu multiplicieren, um sie in Schallstärkewerten von a auszudrücken.

Es versteht sich von selbst, dass künftighin alle Messungsresultate auf eine festehende, also allgemeine akustische Dynamie reduciert werden müssen. Einen Wert für dieselben schon jetzt vorzuschlagen, muss ich mich aber vorerst noch enthalten, da ich die Breite der Schwankungen der akustischen Dynamie in einer grösseren Zahl normaler Individuen noch nicht kenne. Wahrscheinlich wird es sich künftighin als zweckmässig erweisen, als Mittelwert nicht etwa das genaue Mittel der akustischen Dynamie normaler Individuen zu wählen, sondern eine runde Zahl, mit der sich leicht rechnen lässt; so dürfte für das in Rede stehende Phonometer (Zinntafel von angegebener Construction und massiver Eichenholzconductor) der Wert 10 als allgemeine akustische Dynamie zu empfehlen sein.

---

1) Diese für die ersten Versuche gültige Dynamie verfeinerte sich späterhin bis auf 1,5 in minimo.

Die allgemeine akustische Dynamie in dem von mir vorläufig aufgestellten Sinne beschränkt sich auf eine ganz bestimmte Schallquelle. Der Name wird freilich erst dann vollständig gerechtfertigt sein, wenn dieselbe auf ein streng rationelles Mass, d. h. einen mechanischen Effekt von bestimmtem Betrag, wird bezogen werden können, was einer späteren Zeit sicherlich gelingen wird, in welchem Mass somit auch die an den verschiedensten Schallquellen gewonnenen Schallmessungen sich werden ausdrücken lassen. In § 15a ist vorläufig der Versuch gemacht worden, die an verschiedenen Schallquellen angestellten Schallstärkemessungen mit einander empirisch zu vergleichen.

Zweiter Teil.

Die Messung des Schalleitungsvermögens der Körper.

I. Die allgemeine Methodik und Technik des Experimentierens.

§ 26. Die bisherigen Untersuchungen über die Schalleitungsfähigkeit der Körper.

Wenn Muncke in seinem Artikel »Schall« in Gehler's physikal. Wörterb. Bd. VIII, 1838, sagte, dass die Schalleitungsfähigkeit starrer Körper im Speziellen »noch kaum mit nur irgend einer Genauigkeit untersucht worden ist«, so hat dieser Ausspruch auch jetzt noch seine volle Gültigkeit.

Wir haben die Geschwindigkeit der Fortpflanzung wohl zu unterscheiden von der Schwächung, welche der Schall bei seinem Weiterschreiten erleidet. Aber auch hier ist wieder zu trennen die Schwächung, welche der Schall 1) bei der Fortpflanzung in demselben Medium und 2) beim Uebergang in andere Medien erleidet.

Bei der Fortpflanzung des Schalles in demselben Medium kommt es wesentlich auf das Medium an, welches den schalleitenden Körper umgiebt; in einem in Wasser eingetauchten Holzstab z. B. muss der Schall bei seinem Fortschreiten stärker geschwächt werden, als wenn der Stab von Luft umgeben ist, da der Uebergang der Schallschwingungen starrer Körper in Luft viel schwieriger erfolgt, als in Wasser.

Nach Chladni (Akustik § 224) finden sich schon bei Kircher und Boerhaave einige Angaben über unseren Gegenstand. Chladni selbst erklärt, unter den festen Körpern, gläserne Röhren und demnächst Stäbe von Tannenholz als die leitungsfähigsten

Medien. Er bemerkt (Akustik § 229): »man kann füglich behaupten, dass die Luft zwar das gewöhnliche Verbreitungsmittel des Schalles sei, und das geschickteste, um bei Menschen und allen Landtieren die Empfindung des Schalles vermittelst der äusseren Gehörwerkzeuge den inneren mitzuteilen, dass sie aber demungeachtet eines der schwächsten Leitungsmittel sei und von allen, bisher untersuchten, tropfbar flüssigen und festen Körpern hierin weit übertroffen werde.«

Ferner (Akustik § 224): »Ein blosser Faden, er bestehe aus welchem Material man wolle, ist schon hinlänglich, einen Schall fortzuleiten; wenn z. B. 2 Personen einen starken Faden an den Enden zwischen den Zähnen etwas gespannt halten, so werden sie sich bei verstopften Ohren in einer ziemlichen Entfernung unterhalten können; so auch, wenn man das Ende des Fadens zwischen den Zähnen hält und an dessen anderem Ende einen etwas grossen silbernen Löffel aufhängt und ihn anschlägt, wird man den sonst sehr schwachen Klang des Löffels bei verstopften Ohren wie den starken Klang einer Glocke hören.«

Auch bei Anwendung eines Stabes »von beliebiger Länge und Dicke, aus welcher harten Materie man wolle, wie auch bei Benützung einer Verbindung von mehreren unter beliebigen Winkeln zusammengefügten Stäben hört man, wenn das eine Ende an die Zähne (vorzüglich die oberen) und das andere Ende an den schallenden Körper angestemmt wird, den Schall ebenso stark, oder wohl noch stärker als durch die Luft, besonders wenn der Stab aus tauglicher Materie (Stahl, Tannenholz) besteht.«

Die einzigen, einigermassen systematischen Versuche rühren von Perolle, Professor der Medicin in Toulouse, her (Mém. de l'Acad. de Turin, T. V, 1790. 1791 und Gilbert's Annalen der Physik 1800, Bd. III, 167).

Perolle's Experimentiermethode bestand darin, dass er einen cylindrischen Stab, von 1 Fuss Länge und 1 Zoll Dicke, mit dem einen Ende an das Ohr andrückte, während das andere mit einer Taschenuhr in Berührung war. Der Gehörgang war in beiden Ohren mit gekautem und zermalmtem Papier derartig verstopft, dass die Uhr schon in einem Abstand von bloss 2 Linien nicht mehr hörbar war. Der Schall der Uhr wurde bei diesen Versuchsbedingungen viel stärker gehört, als in der Luft. Bei sämtlichen geprüften Leitern ergaben sich Verschiedenheiten nicht bloss in der Stärke, sondern auch im Timbre des fortgeleiteten Schalles. Perolle sagt, »es fehlt an einem Mittel, die Unterschiede im

Timbre zu bestimmen«; da er aber auch kein Verfahren kannte, um die Intensitätsunterschiede der Schalle bei den verschiedenen von ihm geprüften Leitern zu messen, ordnet er die einzelnen Materialien lediglich nach der Stärke der gehabten Empfindung in eine bestimmte Reihenfolge. Von den Holzarten heisst es: »sie lassen alle den Schall sehr gut durch« — »die Stärke schien jedoch in folgender Ordnung abzunehmen: Weisstannen (bester Leiter) — Brasilienholz — Buchs — Eiche — Kirschbaum — Kastanie.«

Metallene Cylinder von denselben Dimensionen, wie die Holzcylinder, pflanzen nach Perolle den Schall schlechter fort und zwar in folgender Ordnung: Eisen (bester Leiter) — Kupfer — Silber — Gold — Zinn — Blei.

Schnüre verschiedenen Materials, ungefähr ebenso dick und so lang, als die Holz- und Metallcylinder, pflanzten den Schall mit geringerer Kraft, als die oben genannten festen Körper, fort. Dieselben wurden jedoch bloss von dem Gewicht der am einen Ende befestigten Uhr gedehnt, während das andere Ende mit der Hand gegen das Ohr gedrückt wurde. Bei stärkerer Spannung der Schnüre würde Perolle eine viel bessere Fortleitung des Schalles beobachtet haben. Die Leitungsfähigkeit war am grössten bei Schnüren aus Därmen, dann folgten Haare — Seide — Hanf — Flachs — Wolle — Baumwolle.

Perolle zieht das Ergebnis: 1) dass harte Körper und gespannte Schnüre den Schall (fester Körper) viel besser leiten, als die atmosphärische Luft; 2) dass jedes dieser Mittel ihn auf eine eigentümliche Art hindurch lässt, so dass der Timbre und die Stärke des Schalles bei keinem Medium so, wie bei dem andern sich verhält; 3) dass Holz am besten, weniger gut Metalle, am schlechtesten aber gespannte Schnüre leiten.

Auch mit einer Anzahl anderer Körper, die aber nicht in der bei obigen Versuchen benützten Form verwendet wurden, stellte Perolle Versuche an; das Leitungsvermögen verhielt sich folgendermassen: Zink — Antimon — Glas — Salz — Gips — trockener Thon — Marmor. Alle leiteten das Geräusch der Uhr besser als die Luft; der Marmor zeichnete sich durch die Schwäche des Schalles aus, der durch ihn hindurch geht; zwei Stücke desselben von verschiedener Gestalt pflanzten ihn beide auf eine kaum merkliche Art fort. Auch in Resonanzversuchen bestätigte Perolle diese Eigenschaft des Marmors.

Herhold (Reil's Archiv f. Physiol. 1799, III, 165) experi-

mentierte an einem 300 Ellen langen flächsenen Faden, an dessen eines Ende ein metallener Löffel gebunden wurde, während das andere Ende mit einem Finger in den äusseren Gehörgang gedrückt oder zwischen die Zähne genommen wurde. Beim Anschlagen des Löffels empfand er »einen sehr starken Eindruck eines dumpfigen Schalles, gleichsam als ob mit einer grossen Glocke geläutet wurde«. Von Interesse ist die Bemerkung: »Liessen wir das eine Ohr offen, so war der Klang des Löffels durch diesen freien Gehörgang noch kenntlich, es war uns aber auffallend, dass der stärkere Schall durch den Faden alsdann fast eine Sekunde früher den Gehörnerven afficierte.« Ein Faden von Messing verursachte eine stärkere Gehörempfindung, als ein flächsener Faden. Auch Vidron (bei Chladni § 224) giebt, im Gegensatz zu Perolle, an, dass Schwerhörige durch Stücke von Stahl besser hören, als durch Holzstücke.

Von der Leitungsfähigkeit starrer Körper hat man schon längst den entsprechenden Gebrauch bei gewissen Arten von Schwerhörigkeit gemacht. Damit ist also bestätigt, dass sich die Leitung auch auf den Timbre der Klänge bezieht. Chladni (Akustik § 224) verweist auf J. Jorissen's Dissertatio, in qua explicatur nova methodus, surdos reddendi audientes. Halae 1757 und Winkler, de ratione audiendi per dentes. Lipsiae 1759.

Was das Communicieren mit Schwerhörigen mittelst starrer Conductoren betrifft, so meint Chladni auffallenderweise l. c. § 224: »Es wird fast einerlei sein, ob der Redende den Stab an die Zähne, oder an die Kehle, oder an den Brustknochen, oder allenfalls an einen oberen fest an die Brust gedrückten Knopf des Kleides stemmt.« Dieser Ausspruch des grossen Akustikers muss von vornherein als physiologisch unmöglich bezeichnet werden.

Messende Versuche über die Schwächung, welche der Schall bei seiner Fortleitung in den verschiedenen Medien erleidet, sind noch nicht angestellt worden, obschon gerade diese Eigenschaft wichtig genug erscheint zur akustischen Charakteristik der Körper.

In den zahllosen mit Telephonen verschiedenster Construction in den letzten Jahren angestellten Versuchen ist die durch die Fortleitung im Apparat bedingte Schallschwächung nicht zu messen versucht worden. Die einzigen mir bekannten Bemühungen der Art rühren von W. Siemens her, der eine gewöhnliche Spieldose zu seinen Versuchen benützte. Er giebt an, dass ein Bell'sches Telephon etwa $^1/_{10000}$ der Schallmasse, von der es getroffen wird, auf das andere Telephon überträgt (Jahrb. der Erfindungen, her-

ausgegeben von Gretschel und Wunder. XIV. Jahrgang. S. 89. Leipzig 1878). Wir werden später sehen, dass die Schallschwächung nicht (wie beim Licht) in Procenten der ursprünglichen Schallstärke angegeben werden darf.

Ueber die Schwächung des Schalles bei dessen Fortleitung durch tropfbar flüssige Medien ist bloss das armselige Factum bekannt, dass Steine, unter Wasser an einander geschlagen, einen »auf grosse Entfernungen« hörbaren Schall geben; eine Messung oder auch nur beiläufige Taxation der Schwächung, welche der in Wasser fortgepflanzte Schall erleidet, ist bis jetzt nicht einmal versucht worden.

Auch über die Schwächung, die der Schall bei seiner Fortleitung durch die Luft erleidet, sind so gut wie keine Versuche angestellt worden. Notizen, wie weit die menschliche Stimme, oder Musikinstrumente, Kanonendonner und Vulkanexplosionen gehört worden sind, haben keine wissenschaftliche Verwertbarkeit. Die Theorie hält sich übrigens, gerade bei elastisch-flüssigen Medien, zur Annahme berechtigt, dass die Schallstärke im Verhältnis des Quadrates der Entfernung von der Schallquelle abnehme. Dieser Satz galt von jeher als festes Dogma der Akustik und ganz selbstverständliches Postulat aus den Grundprincipien der Mechanik.

Von den, mir bekannten, Lehrbüchern äussert sich bloss das Mousson'sche (in der 1871 erschienenen zweiten Auflage) vorsichtig in folgender Weise: »Da das Ohr die Stärke der Wahrnehmung nur höchst unvollkommen (?) beurteilt, man zudem bis jetzt kein genaues Mittel zur Messung der Schallstärke besitzt, so fehlt dem ohne Zweifel richtigen Gesetz die genaue Bestätigung der Wahrheit.«

Experimentelle Untersuchungen über diese Frage werden nirgends citiert, ausser bei Radau (Lehre vom Schall, München 1869, S. 79). Er berichtet: »Experimentell haben Delaroche und Dunal das Gesetz folgendermassen nachgewiesen. Sie verschafften sich fünf ganz gleiche Uhrglocken und stellten davon eine an einem Endpunkt einer gemessenen Standlinie, die vier andern am entgegengesetzten Ende auf. Nun wurde der Punkt bestimmt, wo der Schall der einen Glocke ebenso laut erschien, als der Ton der vier andern zusammengenommen. Bei gleicher Entfernung musste der Ton offenbar viermal so stark, als der erstere sein. Es fand sich, dass er nur ebenso stark erschien, wenn der Beobachter ihn aus einer zweimal so grossen Distanz hörte, als

den Ton der einzelnen Glocke. Dies war die Bestätigung des bereits erwähnten Gesetzes« u. s. w. u. s. w. Ganz abgesehen von dem technischen Verfahren, das wesentlichen Bedenken unterliegt, haben die Experimentatoren sich auf ein einziges Paar von Abständen beschränkt, was entschieden zu tadeln ist. Sie hätten ihre Aufgabe offenbar in umfassenderer Weise lösen sollen.

Nach obiger historischen Umschau kann kein Zweifel bestehen, dass auf diesem Gebiet das messende Experiment ein unendliches und höchst dankbares Feld der Forschung vor sich hat. Indem ich dasselbe zum ersten Mal betrete, kann ich nicht umhin, meine schon früher gemachte Aeusserung nachdrücklichst zu wiederholen, dass die an zahlreichen Medien jedweder Aggregatform von mir gewonnenen Messungsresultate, den Umständen gemäss, in der Regel nur aus einer beschränkten Zahl von Einzelbestimmungen abgeleitet werden konnten, was uns aber nicht hindern wird, die der Schalleitung in starren, wie flüssigen, Medien zu Grunde liegenden Gesetzmässigkeiten mit Sicherheit schon jetzt aufstellen zu können. Die Festsetzung der genaueren Schwächungscoëfficienten des Schalles für die einzelnen Schalleiter muss der Zukunft und zahlreichen weiteren Einzelprüfungen überlassen bleiben. Auch muss ich bei dieser Gelegenheit betonen, dass — wie ich unzweifelhaft nachweisen werde — die mittelst psychophysischer Methoden gewonnenen Massgrössen frei von jedwedem subjektiven Einfluss sind und den objektiven Verhältnissen vollkommen entsprechen.

---

§ 27. Die erste Messungsmethode des Schalleitungsvermögens von Medien jedweder Aggregatform mit Hilfe der Schwellenempfindung.

Die Technicismen, welche zur Messung des Schalleitungsvermögens dienen, sind mehr oder weniger verschieden je nach der Aggregatform der leitenden Medien und werden in den §§ 39, 48, 53 besonders erörtert. Ich beschränke mich deshalb hier auf wenige allgemeine Bemerkungen.

Zur Messung der Schwächung, welche der Schall bei seiner Leitung durch Medien jedweder Beschaffenheit erleidet, verwende

ich zwei verschiedene Methoden, die sich gegenseitig controllieren. Die meisten Messungen habe ich mittelst der in diesem § erörterten Methode angestellt.

Die erste Methode besteht im Wesentlichen darin: die Stärke des am einen Ende des Mediums erregten Schalles stufenweis bis auf den Punkt abzuschwächen, dass das am andern Ende des Mediums auscultierende Ohr nur einen eben noch merklichen Eindruck erhält. Mittelst des Phonometers oder des Percussionspendels lassen sich, nach jeweils nur kurzem vorläufigem Probieren, Schalle von der dazu erforderlichen messbaren Stärke schnell herstellen.

Das Schalleitungsvermögen kann nicht bloss an jedwedem, die physikalische Akustik interessierenden, Körper und an, aus dem Organismus entfernten, Teilen, sondern auch am Lebenden selbst gemessen werden.

Längere Zeit arbeitete ich mit unvollkommenen technischen Hilfsmitteln, indem die gemessenen Schallstärken mit Constanten behaftet waren und somit höchstens unter sich vergleichbare Werte darstellten. Dazu kommt noch, dass ich Phonometer verschiedener Materiale benützte und zur Beantwortung gewisser für die Phonometrie wichtigen Fragen benützen musste. Die mit verschiedenen Phonometern angestellten Messungen sind aber unter sich nicht ohne Weiteres vergleichbar; zur Herstellung ihrer Vergleichbarkeit waren jeweils wieder besondere längere Versuchsreihen erforderlich. Die allgemeinen Gesetze der Schalleitung können freilich an Phonometern beliebigen Materiales gefunden werden

Auch war ich anfangs in den Fragestellungen äusserst beschränkt; die letztern ergaben sich erst allmählich nach vorausgegangener Prüfung der Leistungen der Phonometer und des Gehörsinnes selbst. Die Versuchsmethoden, sowie die Berechnung der gemessenen Werte, konnten somit nur auf dem Wege der Empirie und des Probierens nach und nach gefunden werden.

Dasjenige Phonometer wird für unsere Zwecke das beste sein, das überall in gleicher Beschaffenheit herstellbar und bei den verschiedensten Objekten anwendbar ist, bei dessen Anwendung in je zwei oder mehreren Vergleichsversuchen alle übrigen Versuchsbedingungen genau dieselben sind mit Ausnahme des Einflusses, dessen Intensität gemessen werden soll, und das gestattet, die zwei wichtigsten Einflüsse, um die es sich immer handelt: die (innern) Leitungswiderstände in den zu prüfenden Medien, sowie

die Uebergangswiderstände aus letzteren in beliebige andere Medien getrennt für sich bestimmen zu können.

Um die Schwächung des Schalles bei dessen Durchgang durch ein beliebiges Medium zu messen, experimentiere ich gewöhnlich nur an zwei bis vier verschieden langen Schichten des zu untersuchenden Mediums. Je kürzer der zurückzulegende Weg, um so geringer ist die Minderung des Schalles. Werden die Schichtenlängen l als Abscissenwerte, die Schallstärken S, die beim Durchgang durch die Schichten bis auf den Schwellenwert herabgedrückt werden, als Ordinaten eingezeichnet, so ergiebt sich ein der Schichtenlänge einfach proportionales Ansteigen der Ordinaten; in diesen Versuchen sind (oder sollen sein) sämtliche übrigen Widerstandsbedingungen (Leitung durch das Phonometer und vom äussern Ohr bis an das Labyrinth) gleich, während bloss die vom Schall durchzogenen Schichten des zu prüfenden Leiters eine verschiedene Länge haben und somit verschiedene Widerstände bieten, (wobei auch vorausgesetzt wird, dass die Reizbarkeit des Hörnerven und der Aufmerksamkeitsgrad des Beobachters während der Versuche sich nicht wesentlich ändert). Die Ordinaten bestehen demnach aus einem constanten und einem mit der Schichtenlänge einfach proportional wachsenden Wert. Diese Wachstümer verhalten sich, wie ich in einer genügenden Zahl von Versuchsreihen zeigen werde, den Schichtenlängen einfach proportional.

---

§ 28. Die zweite Messungsmethode des Schalleitungsvermögens der Körper mit Hilfe von Schallempfindungen von beliebiger Stärke.

Die im vorigen § beschriebene phonometrische Methode beruht auf Herstellung schwächster Schalle, die immer nur eine eben noch merkliche Empfindung geben. Sie setzt eine gehörige Uebung voraus, da jedes Ohr in einer genügenden Zahl von Vorversuchen sich an die Auffindung und das Hören allerschwächster Schalle und Töne gewöhnt haben muss.

Die nun zu erörternde Methode, die ich erst gegen Ende meiner Studien in Anwendung brachte, fusst im Gegenteil auf der Herstellung von gut hörbaren Schallen, die aber inner-

halb derselben Versuchsreihe in allen Abständen des Ohres von der Schallquelle, oder allgemein ausgedrückt, bei der Einschiebung von beliebig langen Schichten zwischen der Schallquelle und dem Ohr Empfindungen von derselben Intensität auslösen müssen.

Diese zweite Methode ist wiederum bei schalleitenden Medien jedweder Aggregatform verwendbar. Handelt es sich um die Messung der Schallschwächung in der Luft, so stellt man zunächst mittelst irgend welcher Schallquelle einen Schall oder Ton her, welcher in irgend einem Abstand deutlich gehört werden soll. Der objektiven Schallstärke, sowie auch dem Abstand des Ohres von der Schallquelle, kann jeder beliebige Wert erteilt werden. Diese Methode bietet somit den grossen Vorteil, auf denkbar breitester experimenteller Grundlage durchgeführt werden zu können. Dazu kommt noch, dass das Erkennen der Gleichheit der Intensität zweier oder mehrerer Schallempfindungen, die durch eine und dieselbe Schallquelle erzeugt wurden, auch für das weniger geübte Ohr keine Schwierigkeiten hat, weil dann die jeweils mit einander zu vergleichenden Schalle keine Timbreunterschiede bieten. Die Bestimmungen unterliegen also nur den Fehlern, die mit unserer, experimentell wohl durchgeprüften, Unterscheidungsempfindlichkeit für Schallstärken verbunden sind.

Da, wie ich in zahlreichen Versuchsreihen nachweisen werde, die Schallstärken bei der Leitung durch die Luft mit den einfachen Abständen von der Schallquelle abnehmen, so hat man bei Abstand 1 von der Schallquelle die objektive Schallstärke a, bei Abstand 2 die grössere objektive Schallstärke b, bei Abstand 3 die grösste objektive Schallstärke c; sämtliche Schalle werden als gleichstarke empfunden. Das Urteil wird dadurch in hohem Grad erleichtert, dass Abstand 1 vom Ohr constant bleibt, die übrigen Abstände aber variiert werden; also wird ein objektiver Schall bei irgend einer Entfernung so lang verändert, bis die von ihm hervorgerufene Empfindung genau dieselbe Stärke hat, wie die Empfindung, die von der Schallquelle constanten Abstandes (= 1) verursacht wird. Diese Gleichheit der Empfindungen lässt sich sehr rasch herstellen.

Dass die constante und die variable Distanz nicht in einer geraden Linie liegen dürfen, versteht sich von selbst; doch braucht der Winkel, den beide Distanzlinien mit einander bilden, nicht gross zu sein. Die Schallschwächung zwischen Distanz 1 und 2 ist somit b — a, zwischen Distanz 1 und 3 = c — a u. s. w.

Für die Prüfung des Schalleitungsgesetzes in der Luft ist die

in diesem § geschilderte Methode von grossem Wert; übrigens kann sie auch bei ähnlichen Messungen an tropfbar-flüssigen und an starren Körpern angewandt werden, wie in den §§ 39 und 50 näher erörtert wird.

---

§ 29 u. 30. Einfache Berechnungsweisen der Schwächung des Schalles bei dessen Fortleitung.

§ 29. Erstes Verfahren.

Das einfachste Verfahren besteht darin, dass die direkt gemessene jeweilige akustische Dynamie (S), d. h. die Summe der durch den Apparat und den Beobachter veranlassten (constanten) Schallschwächungen abgezogen wird von dem experimentell bestimmten Schallstärkewert (S_1), welcher bei der Einschaltung des zu prüfenden Leiters nötig ist, um den Schall auf die Empfindungsschwelle abzumindern.

Zu den nachfolgenden Versuchen benützte ich verschieden lange Stücke einer frischen Ochsenleber von nahezu 5 Q.Cm Querschnitt. Die Stücke wurden auf ein kleines Schieferplättchen d von fast 5 Q.Cm Oberfläche gelegt und dadurch in senkrechter Lage erhalten, dass sie in eine hölzerne Halbrinne gelegt und mittelst einiger, wenig gespannten, Fäden an die Rinne befestigt wurden. Die Halbrinne wurde durch einen besonderen Träger so gehalten, dass sie mit dem unterliegenden Schieferplättchen nicht in Berührung kam. Letzteres wurde auf die gewöhnliche Schieferphonometertafel gestellt. Auf dem Leberstück lag ein zweites Schieferplättchen c von wiederum fast 5 Q.Cm Oberfläche. Die Plättchen c und d hatten dieselbe Dicke wie die Phonometerschiefertafel. Schallquelle war das Schieferplättchen c. Also ging der Schall von c auf die Leber, von da auf d, sodann auf die Phonometerschiefertafel und von dieser in den (Eichenholz-) Conductor.

Zur Bestimmung meiner individuellen akustischen Dynamie liess ich Bleikügelchen auf das Schieferplättchen d fallen, von wo der Schall auf die Schieferphonometertafel und von da in den Conductor überging. Das zur Entstehung der eben noch merk-

lichen Schallempfindung erforderliche S war 7,98 MgMm (bei 3 Mm Fallhöhe und einem Bleikügelchen von 4,18 Mg Gewicht).

Man hat also, um die Schallschwächung durch die Leberstücke zu messen, von den S_1, S_2 u. s. w. Werten der Schallstärken, die zur Schwellenempfindung erforderlich waren, den Dynamiewert 7,98 [rund 8] MgMm abzuziehen, eine Correktur, die im Vergleich zu der starken Schallschwächung in der Leber freilich ohne Belang ist. Der Exponent ε von h ist für a und b = 0,5 — für c = 0,6 — für d und e = 0,53. Die Versuchsergebnisse sind in nachfolgender Tabelle enthalten.

Tabelle 36.

Schallschwächung durch eine Ochsenleber.

	Länge des Leberstückes in Cm	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	Schwächung der Schallstärke in dem Leberstück		
				in dem ganzen Stück		in 1 Cm langem Stück der Leber
a)	15,5	613	26	3120 = S_1	3112	201
b)	8	613	6,5	1560 = S_2	1552	194
c)	4,4	132,6	41	1232 = S_3	1224	278
d)	2,7	74	36	496 = S_4	488	181
e)	1,1	41,4	13	288 = S_5	280	254
						Mittel: 221

Dieser Endwert 221 s ist also nach der allereinfachsten Berechnungsweise gefunden, die unter Umständen bloss zu genäherten Werten führen kann. Die Abweichungen von dem Endwert (in der letzten Vertikalrubrik) rühren zum Teil davon her, dass die fünf Leberstücke unmöglich qualitativ gleich sein können.

§ 30. Zweites Verfahren.

Genauere Resultate erhält man, wenn die an verschieden langen Leitern desselben Materiales angestellten Messungen bei der Berechnung des Endwertes in alle möglichen Combinationen zu einander gebracht werden.

Die Länge der vom Schall durchzogenen Leiter sei allgemein mit l, für die einzelnen Versuche aber mit $l_1 — l_2 — l_3$ u. s. w. bezeichnet. Die entsprechenden Schallstärken, die beim Durchgang durch diese Schichten auf den Schwellenwert herabgemindert werden, seien durch $S_1 — S_2 — S_3$ u. s. w. ausgedrückt. Wird der Schall in einem Leiter von überall gleichem Querschnitt von

Schicht zu Schicht um denselben absoluten Betrag (also unabhängig von der vorhandenen Schallstärke) abgemindert, so verhalten sich die Differenzen sowohl zwischen je zwei l, als auch zwischen den zwei entsprechenden S zu einander proportional; man hat, wenn X_a das allgemeine Verhältnis zwischen beiden ist,

$$S_p - S_q = X_a \ (l_p - l_q)$$

$$\text{also} \qquad X_a = \frac{S_p - S_q}{l_p - l_q} \qquad (A)$$

Die für sämtliche Combinationen von l_p und l_q berechneten X_a-Werte müssen demnach, wenn die gemachte Voraussetzung — wir wollen sie Princip der absoluten Schwächung des Schalles bei dessen Fortpflanzung nennen — richtig ist, constant oder, in Anbetracht der Fehlergrenzen der Messungsmethode, (sowie der vorerst nur sparsamen Zahl von jeweiligen Einzelmessungen), doch leidlich constant ausfallen.

Bei der Fortleitung des Schalles muss übrigens auch an die Möglichkeit anderer Bedingungen gedacht werden, als die soeben vorausgesetzten. Die Annahme, dass der Schall, wie das beim Licht der Fall ist, bei seinem Fortgang durch Leiter von überall gleichem Querschnitt von Schicht zu Schicht um einen der jeweiligen Stärke proportionalen Betrag geschwächt werde, liegt nahe genug. Auch dürfte diese Ansicht — die als Princip der relativen Schwächung des Schalles bei dessen Fortpflanzung bezeichnet werden mag — wenn ich mich nicht täusche, physikalischerseits als die von vornherein wahrscheinlichere erscheinen.

Wenn der Schall, im Gegensatz zu unserer ersten Annahme, bei seinem Fortschreiten in der Längeneinheit des Leiters je um denselben, seiner jeweiligen Intensität proportionalen, Betrag geschwächt wird, so stehen die Schallstärken S im logarithmischen Verhältnis zu einander. Man hat nunmehr

$$X_r = \frac{\log S_p - \log S_q}{l_p - l_q} \qquad (B)$$

Die Entscheidung zwischen beiden Alternativen verspare ich auf den nächsten § und beschränke mich zunächst auf die Vergleichung zwischen dem oben erwähnten ersten Verfahren und der Formel A des zweiten Verfahrens.

Berechnen wir nun die Versuchsresultate der Tabelle 36 (Ochsenleber) nach der Alternative A (X_a).

Tabelle 37.

	$l_p - l_q$	$S_p - S_q$	Rechnung nach X_a $\frac{S_p - S_q}{l_p - l_q} = X_a$
a — b	7,5	1560	208
a — c	11,1	1888	170
a — d	12,8	2627	205
a — e	14,4	2830	195
b — c	3,6	328	91
b — d	5,3	1067	201
b — e	6,9	1272	185
c — d	1,7	739	435
c — e	3,3	944	286
d — e	1,6	205	128
			Mittel: 210

Das Mittel für $\frac{S_p - S_q}{l_p - l_q}$ ist 210 (in der vorigen Tabelle 36 wurde 221 erhalten). Da der Querschnitt der Leberstücke nahezu 5 Q.Cm betrug, so ist die Schallschwächung durch die Leber von 1 Q.Cm Querschnitt in der Längeneinheit (1 Cm) = 42, ausgedrückt in Schallstärkeeinheiten der Schallquelle (Schieferplatte von ungefähr 5 Q.Cm). Die zum Teil grossen Schwankungen der Einzelwerte erklären sich aus der Natur der Messungsobjekte; die verschieden langen Einzelschichten der Leber sind eben, wie erwähnt, nichts weniger als von überall gleicher Beschaffenheit.

Ich habe sämtliche Differenzen $S_p - S_q$, resp. $l_p - l_q$, gleichmässig zur Berechnung der Schallschwächung durch die Längeneinheit des Leiters benützt, wobei also den kleinen Differenzen derselbe Wert wie den grossen beigelegt wurde, was nicht ganz zweckmässig ist. Die Formel zur Berechnung des Endwertes ist also: $X_a = \frac{\sum \left(\frac{S_p - S_q}{l_p - l_q}\right)}{n}$, wenn die Anzahl der Einzelbestimmungen = n gesetzt wird.

Für Messungen, die nur auf wenigen Versuchsreihen beruhen und ausserdem an Körpern angestellt werden, die in ihren Einzelschichten unmöglich als gleichartig betrachtet werden können, wie z. B. die Leber, sind die von mir gebrauchten Berechnungsweisen vollkommen genügend. Anders aber verhält es sich bei exakteren Versuchsresultaten, die an homogenen Körpern erhalten worden sind.

Ich habe Fechner, mit Vorlegung einiger von mir ausgeführten Versuchsreihen, um seine Ansicht in dieser Frage gebeten und verdanke dieser ersten Autorität in psychophysischen Untersuchungen die in den nachfolgenden §§ erörterte Methode, welche uns in Stand setzt, unter Verwendung einfacher Berechnungsweisen zwischen der von mir gemachten ersten Annahme (X_a) und der zweiten (X_r) eine sichere Entscheidung treffen zu können.

Die Fechner'sche ebenfalls elementare, wenn auch umständlichere Methode unterliegt dem eben erwähnten Mangel nicht, und bietet ausserdem den Vorteil, die Schallschwächungen (sei es nach X_a oder X_r) so finden zu lassen, dass, wenn man die berechneten Werte $S_p - S_q$, resp. $\log S_p - \log S_q$, mit den beobachteten vergleicht, die Summe der Quadrate der Abweichungen davon, kurz der Fehlerquadrate, die kleinstmögliche wird, d. h. kleiner, als wenn man irgend andere Werte von X_a oder X_r zur Berechnung verwendete. Von Letzterem kann man sich leicht überzeugen, wenn man die X_a auch nur wenig abändert; man erhält dann immer grössere Abweichungen zwischen den berechneten und beobachteten Werten. Zunächst wäre die Bedeutung der Werte $S_p - S_q$ und $\log S_p - \log S_q$ nach Fechner zu erörtern.

---

§ 31. Berechnung der Schallschwächung bei dessen Fortpflanzung durch Leiter nach Fechner.

1) Man multipliziert jedes $S_p - S_q$ mit dem zugehörigen $l_p - l_q$ und summiert diese Produkte. Die Summe, d. h. $\Sigma [(l_p - l_q)(S_p - S_q)]$ heisse A.

2) Man nimmt das Quadrat jedes $l_p - l_q$ und summiert diese Quadrate. Die Summe, d. h. $\Sigma (l_p - l_q)^2$ heisse B; dann ist

$$X_a = \frac{A}{B}.$$

Führen wir statt der Quadrate jedes $l_p - l_q$ die Quadrate jedes $S_p - S_q$ ein, so wäre die Summe dieser Quadrate $\Sigma (S_p - S_q)^2 = C$ zu setzen. Das Verhältnis $X_a = \frac{A}{B}$ ist übrigens dem $\frac{C}{A}$ sehr nahestehend. $X_a = \frac{A}{B}$ soll künftig unter Umständen mit

$X_{a\alpha}$, ferner X_a nach $\frac{C}{A}$ mit $X_{a\beta}$ bezeichnet werden. Zur Berechnung nach X_r wäre wiederum statt $S_p - S_q$ nur $\log S_p - S_q$ einzuführen, im Uebrigen aber wie soeben geschildert zu verfahren.

Diese Berechnungsweise giebt in der That genauere Resultate als die des § 30.

Halten wir uns wiederum an das im vorigen § gewählte Beispiel (Schalleitung durch eine Ochsenleber). Die Ueberschriften der Tabellenkolumnen bedürfen keiner speciellen Erläuterung. Die Kolumnen $l_p - l_q$ und $S_p - S_q$ sind der Tabelle 37 des vorigen § entnommen.

Man sieht, dass das Minimum der Quadrate der Abweichungen zwischen den beobachteten und berechneten Werten sich in Kolumne $(l_p - l_q)^2$ auf die Längen des Schalleiters, in Kolumne $(S_p - S_q)^2$ auf die Schallstärken, resp. Schallschwächungen, bezieht.

Tabelle 38.

Rechnung nach X_a.

Combin.	$l_p - l_q$	$S_p - S_q$	$(l_p - l_q)(S_p - S_q)$	$(l_p - l_q)^2$	$(S_p - S_q)^2$
a — b	7,5	2 341,1	17 558,25	56,25	5 480 750
a — c	11,1	3 004,7	33 351,87	123,21	9 028 200
a — d	12,8	3 577,7	45 794,56	163,84	12 800 000
a — e	14,4	4 002,7	57 638,88	207,36	16 022 000
b — c	3,6	663,6	2 388,96	12,96	448 360
b — d	5,3	1 236,6	6 553,98	28,09	1 529 200
b — e	6,9	1 661,6	11 465,04	47,61	2 760 900
c — d	1,7	573,0	974,10	2,89	328 329
c — e	3,3	998,0	3 293,4	10,98	996 009
d — e	1,6	425,0	680,00	2,56	180 625
	68,2	18 484,0	179 699,04 = A	655,75 = B	49 566 368 = C
	log =	log =	log =	log =	log =
	1,83 378	4,26 680	5,25 455	2,81674	7,69518

Demnach ist x_a berechnet aus $\frac{A}{B} = 274{,}04$ $(x_{a\alpha})$

und berechnet aus $\frac{C}{A} = 275{,}82$ $(x_{a\beta})$.

Mittelst meines zweiten Verfahrens (pag. 130) erhielt ich für x_a den Wert 270,3, also keinen nennenswerten Unterschied gegenüber der Anwendung der Fechner'schen Formel. Auch in einigen andern Beispielen machte ich dieselbe Erfahrung, während

in weiteren Versuchsreihen unter Umständen die Differenzen grösser sein können. Und so wird es entschuldigt werden können, wenn ich, namentlich in Versuchsreihen mit verhältnismässig wenigen Einzelmessungen, nach meinem zweiten Verfahren berechne, schon deshalb, weil dieselben zur genaueren, aber umständlichen, Berechnung nach Fechner vorerst noch nicht geeignet erscheinen.

Prüfen wir nun die andern Alternativen nach dem Princip der relativen Schallschwächung.

Tabelle 39.

Rechnung nach X_r.

Combin.	$l_p - l_q$	$(\log S_p - \log S_q)$	$\frac{(l_p - l_q)}{(\log S_p - \log S_q)}$	$(l_p - l_q)^2$	$(\log S_p - \log S_q)^2$
a — b	7,5	0,35521	2,664075		0,12618
a — c	11,1	0,54821	6,085131		0,30054
a — d	12,8	0,83484	10,685952		0,69695
a — e	14,4	1,34813	19,413072	s. vorige Tabelle	1,81740
b — c	3,6	0,19300	0,694800		0,03725
b — d	5,3	0,47963	2,542039		0,23005
b — e	6,9	0,99292	6,851148		0,98587
c — d	1,7	0,28663	0,487271		0,08216
c — e	3,3	0,79992	2,639736		0,63989
d — e	1,6	0,51329	0,821264		0,26346
			52,884488 = A_1	655,75 = B	5,17975 = C_1
			log =	log =	log =
			1,72332	2,81674	0,71430

Vergleichen wir nun in der nachfolgenden Tabelle die beobachteten Werte $(l_p - l_q)$ mit den berechneten und die Summe $\Sigma\delta^2$ der Unterschiede zwischen Rechnung und Beobachtung.

Die nach dem Princip der absoluten Schallschwächung berechneten Werte ergeben sich, wenn die zugehörigen $S_p - S_q$ mit $x_{a\alpha}$ dividiert werden; für $x_{a\alpha}$ wurde gefunden 274,04. Die Summe $\Sigma\delta$ ist dann = 5,23, die Summe $\Sigma\delta^2$ = 4,2001.

Für die zweite Alternative (Princip der relativen Schallschwächung) ist $x_{r\alpha}$ = 0,080646. Man hat nämlich

$$\Sigma\,(l_p - l_q)\,(\log S_p - \log S_q) = A_1 = 52{,}884488$$

$$\text{und } (l_p - l_q)^2 = B = 655{,}75.$$

$$\text{Also } \frac{A_1}{B} = x_{r\alpha} = 0{,}080646.$$

Die Unterschiede $(l_p - l_q)$ werden also erhalten, wenn jedes

$\log S_p - \log S_q$ mit $x_{r\alpha}$, d. h. 0,080646 dividiert wird. Daraus ergiebt sich (s. Tabelle 40) für $\Sigma\delta = 32{,}67$ und $\Sigma\delta^2 = 140{,}5441$.

$\Sigma\delta^2$ ist also enorm im Vorteil, wenn man nach x_a (resp. $x_{a\alpha}$) rechnet, statt nach x_r (resp. $x_{r\alpha}$).

Bestimmen wir die x_a und x_r nach der Formel $\frac{C}{A}$, welche statt $(l_p - l_q)^2$ die Werte $(S_p - S_q)^2$ einführt, so ist $\Sigma\delta$ für $x_{a\beta} = 5{,}13$, für $x_{r\beta} = 29{,}29$, sowie $\Sigma\delta^2$ für $x_{a\beta}$ 4,1785, für $x_{r\beta}$ aber 115,6841; also ist wiederum x_a entschieden im Vorteil gegenüber x_r.

Tabelle 40.

Vergleichung der beobachteten mit den berechneten Werten.

Die berechneten $(l_p - l_q)$ sind:

nach $a\alpha = \frac{(S_p - S_q)}{x_{a\alpha}}$, nach $a\beta = \frac{(S_p - S_q)}{x_{a\beta}}$,

nach $r\alpha = \frac{(\log S_p - \log S_q)}{x_{r\alpha}}$, nach $r\beta = \frac{(\log S_p - \log S_q)}{x_{r\beta}}$.

	$l_p - l_q$					δ			
	beobachtet	berechnet							
		aα	aβ	rα	rβ	aα	aβ	rα	rβ
a — b	7,5	8,54	8,49	4,40	3,63	1,04	0,99	3,10	3,87
a — c	11,1	10,96	10,89	6,80	5,60	0,14	0,21	4,30	5,50
a — d	12,8	13,05	12,97	10,35	8,52	0,25	0,17	2,45	4,28
a — e	14,4	14,61	14,51	16,72	13,76	0,21	0,11	2,32	0,64
b — c	3,6	2,42	2,41	2,39	1,97	1,18	1,19	1,21	1,63
b — d	5,3	4,51	4,48	5,95	4,90	0,79	0,82	0,65	0,40
b — e	6,9	6,06	6,02	12,31	10,13	0,84	0,88	5,41	3,23
c — d	1,7	2,09	2,08	3,55	2,93	0,39	0,38	1,85	1,23
c — e	3,3	3,64	3,62	9,92	8,17	0,34	0,32	6,62	4,87
d — e	1,6	1,55	1,54	6,36	5,24	0,05	0,06	4,76	3,64
						$\Sigma\delta = 5{,}23$	5,13	32,67	29,29

	δ^2			
	aα	aβ	rα	rβ
a — b	1,0816	0,9801	9,6100	14,9769
a — c	0,0196	0,0441	18,4900	30,2500
a — d	0,0625	0,0289	6,0025	18,3184
a — e	0,0441	0,0121	5,3824	0,4096
b — c	1,3924	1,4161	1,4641	2,6569
b — d	0,6241	0,6724	0,4225	0,1600
b — e	0,7056	0,7744	29,2681	10,4329
c — d	0,1521	0,1444	3,4225	1,5129
c — e	0,1156	0,1024	43,8244	23,7169
d — e	0,0025	0,0036	22,6576	13,2496
	$\Sigma\delta^2 = 4{,}2001$	4,1785	140,5441	115,6841

Fechner bemerkt zu der von ihm vorgeschlagenen Berechnungsmethode noch Folgendes: »Inzwischen bleibt bei dieser ganzen Rechnung noch ein principieller Fehler im Ansatz derselben. Wir beurteilen den Vorzug zwischen x_a und x_r darnach, welcher von beiden Werten ein kleineres $\Sigma\delta^2$ zwischen beobachteten und nach dem respectiven x berechneten $l_p - l_q$ giebt, und können nicht wohl anders, weil bloss die $l_p - l_q$ in die Bestimmung beider x gemeinsam eingehen, während im Uebrigen x_a von $S_p - S_q$, x_r von $\log S_p - \log S_q$ abhängt. Ist aber dem so, so muss auch x_a sowohl als x_r vielmehr nach β als α bestimmt werden, d. h. so bestimmt werden, dass die $\Sigma\delta^2$ bei jedem für sich ein Minimum werden, wenn man die darnach berechneten $l_p - l_q$ mit den beobachteten vergleicht. Statt dessen wurde sowohl x_a als x_r nach α, also als $x_{a\alpha}$, $x_{r\alpha}$ bestimmt, und doch nachher der Vorteil des einen x vor dem andern darnach bestimmt, welches das kleinste $\Sigma\delta^2$ zwischen beobachtetem und berechnetem $(l_p - l_q)$ giebt. Also wird für den in dieser Hinsicht zu ziehenden Vergleich zuvörderst $x_{a\beta}$ und $x_{r\beta}$ für das vorhin bestimmte $x_{a\alpha}$ und $x_{a\beta}$ zu substituieren sein, was nach den sofort anzuführenden Formeln geschehen kann.

Dabei ist aber zu bemerken, dass der Vorzug, den bei dem Vergleich von x_a mit x_r die Modification der Bestimmung nach β vor der Bestimmung nach α hat, sich eben auch nur auf diesen Vergleich bezieht, wogegen, wenn die Alternative r nach solchem Vergleiche für abgethan gelten kann, für x_a stets die Modification α vorzuziehen sein wird aus dem für die correkte Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate massgebenden Gesichtspunkte, dass die Werte S als Funktionen der Werte l, nicht aber umgekehrt bestimmt werden, so dass statt $x_{a\alpha}$ einfach x gesetzt werden könnte.

$$x_{a\alpha} = \frac{\Sigma\,(l_p - l_q)\,(S_p - S_q)}{\Sigma\,(l_p - l_q)^2} = \frac{A}{B}$$

$$x_{a\beta} = \frac{\Sigma\,(S_p - S_q)}{\Sigma\,(l_p - l_q)\,(S_p - S_q)} = \frac{C}{A}$$

$$x_{r\alpha} = \frac{\Sigma\,(l_p - l_q)\,(\log S_p - \log S_q)}{\Sigma\,(l_p - l_q)^2} = \frac{A_1}{B}$$

$$x_{r\beta} = \frac{\Sigma\,(\log S_p - \log S_q)^2}{\Sigma\,(l_p - l_q)\,(\log S_p - \log S_q)} = \frac{C_1}{A_1}$$

Aus den in der obigen Versuchstabelle gegebenen Rechnungen geht hervor, dass uns schliesslich für den Vergleich zwischen x_a und x_r nur die Werte $\Sigma\delta^2$ für $x_{a\beta}$ und $x_{r\beta}$ interessieren, d. i. 4,1785 und

115,6841, von denen letzterer fast 30mal so gross als ersterer ist, was endgültig den gewaltigen Vorteil von x_a gegen x_r beweist.

		log
A	= 179699,04	5,25455
B	= 655,75	2,81674
C	= 49565645	7,69518
A_1	= 52,884488	1,72332
C_1	= 5,17976	0,71432

Hiernach (s. oben):

$x_{a\alpha}$ = 274,04
$x_{a\beta}$ = 275,82
$x_{r\alpha}$ = 0,080646
$x_{r\beta}$ = 0,097950.

Ferner:

		$\Sigma\delta$	$\Sigma\delta^2$
Nach	$x_{a\alpha}$	5,23	4,2001
	$x_{r\alpha}$	32,67	140,5441
	$x_{a\beta}$	5,13	4,1785
	$x_{r\beta}$	29,29	115,6841

Dass die Werte $\Sigma\delta^2$ für β sämtlich kleiner sind, als die entsprechenden für α, ist ganz in der Ordnung und kann zur Controlle der Richtigkeit der Berechnung der vier x beitragen, weil die Bestimmung der x nach β ja ausdrücklich darauf gestellt ist, $\Sigma\delta^2$ bezüglich $(l_p - l_q)$ zum kleinstmöglichen zu machen. Bei x_a ist in unserem Beispiel (Leber) der Unterschied zwischen α und β sehr gering, bei x_r aber gross, während in einer später zu erwähnenden Versuchsreihe (Luftversuche) sich $x_{r\alpha}$ mit $y_{r\beta}$ fast gleich verhält!«

Bei der eben geschilderten Bestimmungsweise von x (Schallschwächung durch die Längeneinheit des Leiters) nach der Fechner'schen Formel (pag. 132),

$$x = \frac{\Sigma (l_p - l_q)\ (S_p - S_q)}{\Sigma (l_p - l_q)^2}$$

welche das Minimum des Quadrats der Abweichungen zwischen beobachteten und berechneten $S_p - S_q$ giebt, werden wir als der besten stehen bleiben. Sie beruht auf der Verwendung von Differenzen beobachteter Werte $S_p - S_q$ und $l_p - l_q$. Man kann aber auch die direkt gefundenen Schallstärkewerte, welche unmittelbar beobachtet worden sind (statt ihrer Differenzen) der Rechnung zu Grunde legen. Auch diese (zweite) Berechnungsweise hat Fechner näher geprüft mit dem Resultat, dass sie — was von vorn-

herein nicht mit Sicherheit entschieden werden konnte — zu denselben Werten führte, wie die oben erörterte. Um nicht zu weitläufig zu werden, verzichte ich hier auf ihre Wiedergabe; vielleicht findet sich F e c h n e r veranlasst, dieselbe später zu veröffentlichen.

---

§ 32. Vergleichende Uebersicht der verschiedenen Berechnungsweisen der Schwächung des Schalles bei dessen Leitung.

Es wird geboten erscheinen, die in den vorhergehenden §§ geschilderten Berechnungsweisen der Versuchsresultate noch in kurzer Vergleichung einander gegenüber zu stellen. Die Berechnung der Schallschwächung nach r (pag. 130) kann weggelassen werden, weil der Schall thatsächlich nicht nach dem Princip der verhältnismäsigen Schwächung fortgeleitet wird. In Folgendem ist die Schallschwächung durch die Längseinheit (1 Cm) des Leiters bloss mit x bezeichnet, und bedeuten allgemein die S diejenigen Schallstärken, welche eine Schwellenempfindung verursachen, die l die Längen (in Cm) der Schalleiter (Gleichheit ihrer Querschnitte vorausgesetzt). Und zwar speziell 1) S die Schallstärke am Phonometer (Phonometertafel samt Conductor) ohne Einschaltung eines Leiters; 2) allgemein S_n die Schallstärke mit Einschaltung eines Leiters von beliebiger Beschaffenheit und Länge; 3) p und q die Indices zur Unterscheidnng verschiedener Werte von S und l; also sind 4) S_p und S_q zwei bestimmte Schallstärken bei Einschaltung verschieden langer Leiter; 5) l_n ganz allgemein Leiter von beliebiger Länge; 6) l_p und l_q zwei Leiter von verschiedener beliebiger Länge (l und q).

Statt der Summenzeichen sollen wiederum die Klammern ([ ]) gebraucht werden.

I. Meine einfache Berechnungsweise.

Verfahren 1.

Mittel aus allen Einzelbestimmungen von $\frac{S_n - S}{l_n} = x.$

Verfahren 2.

Ohne S zu messen, bestimmt man bloss die dem einzelnen l entsprechenden S_n. Man hat also für l_p den Schwellenwert S_p und

für l_q den Schwellenwert S_q. Somit wird $x = \frac{S_p - S_q}{l_p - l_q}$. Aus der Combination sämtlicher $S_p - S_q - S_r$ u. s. w., sämtlicher $l_p - l_q - l_r$ erhält man die entsprechende Anzahl von x-Werten, deren Summe durch die Anzahl n sämtlicher Combinationen dividiert wird.

Verfahren 3.

Die Kenntnis sämtlicher den einzelnen Combinationen von $l_p - l_q$ entsprechenden x-Werte (Verfahren 2) ist ohne Zweifel von Interesse. Das darauf begründete Verfahren 2 leidet aber bei der Aufstellung des Endwertes an dem Mangel, dass die kleinen Differenzen als gleichwertig mit den grossen Differenzen in Rechnung kommen. Diesen Fehler vermeidet das summarische Verfahren 3, welches ausserdem den Vorteil bietet, dass man den Durchschnittswert sehr rasch berechnen kann. Man dividiert einfach die Summe der Differenzen sämtlicher Combinationen von $S_p - S_q$ durch die Summe der Differenzen aller Combinationen von $l_p - l_q$ und hat also $x = \frac{[S_p - S_q]}{[l_p - l_q]}$.

II. Berechnungsweisen im Sinne der Methode der kleinsten Quadrate nach Fechner.

x wird so bestimmt, dass die Summe der Quadrate der Abweichungen, kurz $\Sigma\delta^2$, zwischen den beobachteten und berechneten $S_p - S_q$ die kleinstmögliche wird. Dann ist $x = \frac{[(l_p - l_q)(S_p - S_q)]}{[(l_p - l_q)^2]}$.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der einfachen und der im Sinne der Methode der kleinsten Quadrate ausgeführten Fechner'schen Berechnungsweisen sind allerdings nicht gross. Bloss mein Verfahren I führt zu stärkeren Abweichungen. Es wird somit gerechtfertigt sein, wenn ich die vielen kleinen Versuchsreihen in dieser Schrift fast ausschliesslich mit Hilfe meines Verfahrens 2 berechne und die bessere Fechner'sche Formel nur für die grösseren, zu exakteren Endergebnissen führenden, Versuchsreihen in Anwendung bringe.

§ 33. Die Uebergangswiderstände.

Schon oben wurde bei der Schilderung einiger Versuchsmethoden die Ausführbarkeit der gesonderten Messung des inneren Widerstandes der Schalleiter erwähnt. Sämtliche Widerstände — und hieher gehören gerade diejenigen, deren Kenntnis bei der Leitung des Schalles von Wichtigkeit ist — welche sich genau und beliebig abändern lassen, müssen der gesonderten Messung zugänglich sein. Unsere Aufgabe soll unter Voraussetzung der Anwendung des »vereinfachten Phonometers«, den ich zu diesen Messungen besonders empfehle, erörtert werden; man wird aber unschwer erkennen, dass sie, wenn auch mitunter in einer weniger bequemen, auch mittelst der übrigen früher beschriebenen Verfahrungsweisen ganz oder doch teilweis gelöst werden kann.

Man stellt zur Messung des inneren Widerstandes den zu prüfenden Körper a, dem am besten die Form einer runden Säule gegeben wird, auf einen der beiden kleinen Phonometercylinder B, C (Fig. 7, pag. 36). Der Durchmesser des ersteren soll 3 Cm betragen, also demjenigen des Phonometercylinders gleich sein. a habe m Längeneinheiten, der unbekannte innere Widerstand für die Längeneinheit sei = y. Auf a wird ein leichtes rundes Eichenholzplättchen b gelegt, welches durch das Fallkügelchen in Schwingungen versetzt wird. Die unbekannte Schallschwächung beim Fortleiten durch b sei = z. Das Plättchen habe etwa 5 Mm Dicke und wiederum 3 Cm Durchmesser. Der unbekannte Uebergangswiderstand aus b in a sei x; da der Schall nach seinem Durchgang durch a wiederum in Eichenholz übergeht, so muss der damit verbundene Uebergangswiderstand ebenfalls = x sein. Der strenge Beweis für letztere Behauptung könnte freilich nur durch eine besondere Versuchsreihe geführt werden, deren Ausführung, wie man leicht sieht, keine Schwierigkeiten bieten würde. Jedenfalls sind beide x-Werte als einander sehr nahestehend zu betrachten. Wäre der zweite Uebergangswiderstand ein anderer als der erste, so würde das übrigens für unseren vorliegenden Zweck gleichgiltig sein. Die Schallschwächung durch das Phonometer sei = p, beim Uebergang aus dem Phonometer in das Ohr = q, beim Durchgang durch die schalleitenden Teile des Ohres bis zum Labyrinth = t. Da p + q + t constant sind, so bezeichnen wir sie zusammen mit w. Der ganze äussere Leitungsapparat bis zum Ohr besteht also aus dem Eichenholz des Phonometers und dem zu prüfenden Körper.

Man bestimmt nun den schwächsten Schall S_1, der bei diesen Versuchsbedingungen eben noch gehört wird, und hat somit:

I) $S_1 = z + 2x + my + w.$

In einem zweiten Versuch giebt man dem zu prüfenden Körper eine grössere Länge, von n Einheiten. Alle übrigen Versuchsbedingungen sind somit genau dieselben wie beim Versuch I, mit Ausnahme der Länge von a. Man bestimmt wiederum den schwächsten Schall (er soll mit S_2 bezeichnet werden), der nunmehr nach seiner Leitung durch dieses zweite System als eben noch merklich gehört werden kann und hat

II) $S_2 = z + 2x + ny + w.$

Also ist

III) $y = \frac{S_2 - S_1}{n - m}.$

Als Längeneinheit wird zweckmässig 1 Cm genommen. Um verschiedene Körper in Bezug auf ihr Schalleitungsvermögen genau mit einander vergleichen zu können, ist für Gleichheit des Querschnittes Sorge zu tragen. In vielen meiner Versuche hatten die Leiter (von rundem Querschnitt) einen Durchmesser von 3 Cm, also 7,07 Q.Cm Querschnitt. Es dürfte ratsam sein, für die zu prüfenden Schalleiter einen Querschnitt von 10 Q.Cm (also bei runden Querschnitten einen Durchmesser von 3,57 Cm) zu wählen, so dass unserer Längeneinheit ein cubischer Inhalt von 10 C.Cm entsprechen würde. Aus diesem Grund empfehle ich den beiden kurzen Cylindern des Phonometers einen Durchmesser von 3,57 Cm zu geben, wenn man nicht den Gebrauch des Modells III des Phonometers vorziehen will (s. pag. 37).

Am Zweckmässigsten wird auf jeden der beiden kurzen Phonometercylinder ein Schalleiter gestellt. Hat man zwei Fallapparate, so kann man mit den Messungen abwechseln, z. B. je immer 4—6 Versuche auf einen Schalleiter verwenden. Dadurch gewinnt man den grossen Vorteil, dass die etwaigen allmählichen Aenderungen der Hörschärfe im Verlauf der Versuchszeit sich nicht geltend machen können, indem jeweils nur je 4—6 Versuche der einen mit ebenso vielen der anderen Gruppe verglichen werden.

I. Der constante Uebergangswiderstand beim Phonometerversuch.

Statt des Holzplättchens b mit der Schallschwächung z verwendet man zwei solcher Plättchen $\frac{b}{2}$ von je halber Dicke wie b.

Also wird der innere Widerstand in beiden Plättchen zusammen wiederum = z sein müssen [1]).

Der Schalleiter (a) wird ebenfalls in zwei Teile zerlegt; der Einfachheit wegen nehmen wir an, beide Teile zusammengenommen seien ebenso lang wie in einer (I oder II) der vorhin beschriebenen Versuchsanordnungen.

Demnach sind alle übrigen Versuchsbedingungen dieselben geblieben, wie in I (resp. II), mit Ausnahme der Zahl der Uebergangswiderstände x, die auf 4 gestiegen sind. Das oberste Eichenholzplättchen muss jetzt stärker erschüttert werden, um dem Ohr einen eben noch merklichen Schall zuzuführen. Die Erschütterung sei mit S_3 bezeichnet.

Also hat man

$$\text{IV)}\quad S_3 = \frac{z}{2} + x + \frac{my}{2} + x + \frac{z}{2} + x + \frac{my}{2} + x + w$$
$$= z + 4x + my.$$

Aus IV) und I) folgt

$$\text{V)}\quad x = \frac{S_3 - S_1}{2}.$$

Drei Bestimmungen reichen somit hin, um die verschiedenen Widerstände, die bei der Schalleitung durch starre Körper in Frage kommen, genau messen zu können. Der innere Widerstand des zu prüfenden Körpers ist unstreitig der wichtigste; die gemessenen Uebergangswiderstände beziehen sich immer auf ein und dasselbe Medium: Eichenholz.

Man könnte der soeben beschriebenen Versuchsweise und den entsprechenden Formeln den Vorwurf machen, dass die Schallquellen b und $\frac{b}{2}$ verschieden starke Schalle bei demselben s ergeben. Diesem Vorwurf kann man aber entgehen, wenn dem obersten b in den zwei zur Bestimmung von x erforderlichen Versuchsanordnungen die gleiche Dicke gegeben wird. Nunmehr kann x nicht aus einer der Gleichungen I oder II und aus IV bestimmt werden, sondern es sind zwei neue Versuchsanordnungen zu diesem Zweck erforderlich.

Um den letzteren die einfachste Form zu geben, wird in der einen Messung der Schalleiter a in zwei gleich lange Hälften geteilt und zwischen beide ein zweites Plättchen b von derselben

---

1) Vom Verfasser waren hier und im Folgenden einige Figuren geplant, die aber vom Leser leicht durch einfache schematische Zeichnung ersetzt werden können.

Dicke wie das obere b eingeschoben. In der zweiten Messung wird der Schalleiter a in drei gleichlange Teile geteilt und zwischen letzteren je ein Plättchen von der Dicke $\frac{b}{2}$ eingeschoben.

Man hat also für die erste Messung

$$\text{VI)}\quad S_4 = z + x + \frac{y}{2} + x + z + x + \frac{y}{2} + x + w$$
$$= 2z + 4x + y + w,$$

und für die zweite Messung

$$\text{VII)}\quad S_5 = z + x + \frac{y}{3} + x + \frac{z}{2} + x + \frac{y}{3} + x + \frac{z}{2} + x + \frac{y}{3} + x + w$$
$$= 2z + 6x + y + w.$$

Demnach VIII) $x = S_5 - S_4$.

Ich habe absichtlich den Versuchsanordnungen bei der Bestimmung von x die möglichst einfache Form gegeben; man kann aber die Zahl der Uebergangswiderstände noch mehr vergrössern, während die Gesamtlänge von a immer gleich genommen wird, d. h. n Stücke von $\frac{a}{n}$ Länge angewandt werden.

Die auf diesem Wege durch n Versuchsanordnungen gewonnenen x-Werte, n an Zahl, geben dann der Bestimmung von x natürlich eine grössere Controlle und Genauigkeit.

Man kann, da y bekannt ist, der Gesamtlänge von a beliebige Werte geben. Auch werden mehr als bloss zwei Variationen der Länge von a der Bestimmung des Wertes y eine grössere Sicherheit verleihen.

Die Messung des inneren Widerstandes (y) des Leiters ist unter allen Umständen die oberste Aufgabe; die Messung des Uebergangswiderstandes, der also immer auf dasselbe Medium (Eichenholz) bezogen wird, könnte gleichgültig und von bloss casuistischem Wert erscheinen; immerhin dürfte es geraten sein, den Uebergangswiderstand auf ein constantes Medium zu beziehen, wie ja auch die Optik verfährt, indem sie ihre Angaben des »absoluten« Brechungsverhältnisses der Körper immer auf dasselbe Medium (Luft, resp. luftleeren Raum) bezieht.

Man kann aber weiter gehen und unsere Frage ganz allgemein in folgender Weise erledigen:

II. Messung des Uebergangswiderstandes zwischen zwei beliebigen starren Körpern.

Es liessen sich verschiedene Versuchsanordnungen herstellen, um diesen Widerstand zu messen und die Messungen eben durch

die bei diesen Anordnungen beobachteten Werte zu controllieren; die allereinfachste ist aber die folgende, welche den Uebergangswiderstand zwischen zwei Medien bestimmt, ohne dass man die inneren Leitungswiderstände dieser Medien in Rechnung zu bringen oder überhaupt zu kennen hätte.

Der eine (a) der beiden Körper, deren gegenseitiger Uebergangswiderstand gemessen werden soll, habe eine beliebige Länge; sie sei = 1. Von dem zweiten Körper benützt man zwei gleichlange Stücke c, c von beliebiger Länge. Auf einen der beiden kleinen Phonometercylinder legt man folgende Schicht: zunächst c, dann a, sodann noch einmal c und schliesslich das Eichenholzplättchen b, das durch das Fallkügelchen erschüttert wird. Sein innerer Widerstand sei mit a bezeichnet. Die Stärke des Uebergangswiderstandes aus b in c, also auch aus dem unteren c in das Phonometer, sei jedesmal x; die des Uebergangswiderstandes von c in a und von a in c jedesmal y; alle übrigen Widerstände im Phonometer und Gehörorgan w, die inneren Widerstände von b, a und c brauchen, wie erwähnt, nicht in Rechnung zu kommen. Die Grösse des zum Entstehen der eben merklichen Hörempfindung erforderlichen Stosses sei S_6 proportional.

Also hat man

$$\text{IX)}\quad S_6 = b + 2x + 2c + a + 2y + w.$$

In einem zweiten Versuch teilt man a in zwei gleich lange Teile; statt des unteren c im vorherigen Versuch werden zwei von je der halben Länge wie c verwendet. Zwischen die beiden $\frac{a}{2}$ wird das eine $\frac{c}{2}$ und zwischen das untere $\frac{a}{2}$ und das Phonometer das zweite $\frac{c}{2}$ gelegt. Man hat also, wenn der Schwellenwert bei der jetzigen Versuchsanordnung einen (selbstverständlich stärkeren Stoss) S_7 erfordert,

$$\text{X)}\quad S_7 = b + 2x + 2c + a + 4y + w,$$

also

$$\text{XI)}\quad y = \frac{S_7 - S_6}{2}.$$

Die Kenntnis des in I) zur Sprache gebrachten Uebergangswiderstandes (in das Material des Phonometers) des Mediums, um dessen inneren Schalleitungswiderstand es sich immer in erster Linie handelt, scheint mir aus oben erwähntem Grund schon an sich von einem gewissen Interesse.

Wir hätten schliesslich noch den inneren Widerstand der ursprünglichen Schallquelle b zu betrachten. Diesen kennt man

aus ein- für allemal angestellten Messungen an Eichenholz; man kann ihn aber auch aus einigen der obigen Formeln, z. B. I, II, VI oder VII bestimmen, da x und y bekannt sind.

Damit sind sämtliche objektiven Aufgaben, um welche es sich bei der physikalischen Messung der Schallschwächung in einem Leiter oder einem System von solchen handeln kann, erledigt.

Man kann aber noch weiter gehen, und an die Messung der Schallschwächung im Phonometer selbst und im Kopf des Experimentators denken! Das Problem ist nicht so chimärisch, als es auf den ersten Blick aussieht.

Das gemessene S ist bei der einfachsten unserer Versuchsanordnungen, wie sie oben dargestellt ist, die Summe folgender einzelner, in s-Werten ausgedrückter, Schallschwächungen:

1) des Mediums a, dessen innerer Widerstand eben gemessen werden soll, 2) des Widerstandes in der Schallquelle b, 3) der zwei Uebergangswiderstände aus b in a und aus a in das Phonometer. Die Bestimmung sub 1 interessiert uns zunächst; rechnen wir aber die Werte 2 und 3 hinzu, so haben wir die Summe aller äusseren Widerstände (sie sei = n) bis zum Eintritt des Schalles in das Phonometer selbst. Demnach ist S minus n die Summe aller Schallschwächungen: a) im Phonometer, b) beim Uebergang aus letzterem in das Ohr, c) bei der Fortleitung im Ohr bis zum Labyrinth, wozu offenbar noch der mit der Ausbreitung des Schalles im Kopf verbundene, demnach dem Ohrlabyrinth selbst verloren gehende, Verlust zu rechnen ist. Schliesslich bleibt ein unter günstigsten psychischen Bedingungen sicherlich sehr kleiner Rest s übrig, der die Endausbreitungen der Hörnerven (resp. die mikroskopischen Aufnahmsorgane des Schalles) in die zur Schwellenempfindung erforderlichen Schwingungen versetzt.

Wenn nun auch bei meiner Versuchsanordnung ein Teil der Schallschwingungen in den Schalleitern selbst, sowie im Phonometer an die Umgebung, den Tisch, die Luft, verloren geht, ein proportionaler Rest bleibt zurück, so dass das oben bezeichnete Verhältnis $(S - n) : n$ dadurch nicht wesentlich alteriert werden kann.

Durch zweckmässige Abänderung des Phonometers liesse sich vielleicht der Einfluss von a messen; die Schallverluste sub c) wären möglicherweise an der Leiche zu bestimmen. Auch könnte man das Felsenbein der frischen Leiche selbst als Schallquelle benützen und den Conductor auf dasselbe aufsetzen. Es ist ferner vielleicht nicht aussichtslos, auch b, wozu ich vorläufig keine Hilfsmittel mir aussinnen kann, bestimmen zu können. Von allen diesen

weitaussehenden Aufgaben muss ich aber, da ich mich in der Hauptsache auf die physikalische Intensitätsmessung beschränke, vorerst absehen.

Der übrig bleibende Rest von Schwingungen, welche das Labyrinth erschüttern, zur Hervorbringung der allerschwächsten Empfindung, ist, wie gesagt, unter den günstigsten psychischen Bedingungen, bei höchster Steigerung der Aufmerksamkeit u. s. w. ein sehr kleiner. Die *S*-Werte, d. h. die individuelle akustische Dynamie, schwanken aber erheblich; während die Schallverluste im Phonometer und sicherlich auch im gesamten Leitungsapparat des Ohres constant bleiben. Wir müssen also schliessen, dass die Reizbarkeit des Gehörnerven selbst bei unseren Versuchen erheblich schwanke, ohne dass dabei die Sicherheit unserer Messungen irgendwie beeinträchtigt werden kann.

---

§ 34. Die Messung der Schallschwächung in der Substanz und an der Oberfläche der Leiter.

Die Messung der Schwächung, welche der Schall in verschieden langen Schichten eines und desselben Leiters (von gleichbleibendem Querschnitt) erleidet, führt uns zu dem Ergebnis, dass der Schall in je gleich langen Schichten immer um denselben absoluten Betrag abgemindert wird. Die absolute Stärke der Abänderung hängt von der ursprünglichen Schallstärke ab.

Die Schwächungsursachen liegen sowohl in dem Widerstand der Masse des Leiters selbst, dessen Teilchen sich an einander reiben, als auch (was bei den tropfbaren und den elastischen Flüssigkeiten am deutlichsten ist) an der Oberfläche des Leiters, d. h. da, wo die tönende Luft, resp. das schallende Wasser, mit dem Material der Wandung in Berührung kommt. Nennen wir beide Widerstände a und b; bei der eben erwähnten, d. h. unserer gewöhnlichen, Versuchsanordnung können aber beide Widerstände nicht gesondert für sich gemessen werden, da jeder derselben in der Längseinheit immer in demselben absoluten Betrag a + b sich geltend machen muss. Prüfen wir dagegen das Schalleitungsgesetz an gleichlangen, aber verschiedenlumigen, Leitern (in Cylinderform), so wächst die Masse des Leiters im Verhältnis des Quadrates des

Durchmessers, der Cylindermantel aber nur im einfachen Verhältnis des Durchmessers. Dadurch gewinnen wir die Möglichkeit, beide Widerstände gesondert für sich messen zu können.

Statt allgemeiner Darstellung wähle ich wieder ein Beispiel, zunächst die § 55 Tab. 93 gegebene Versuchsreihe über Schallschwächung in Luftsäulen von gleicher (d. h. 97,1 Cm) Länge, aber verschiedenem Querschnitt. Das Nachfolgende ist an sich verständlich; Näheres über die Versuchseinrichtung ist weiter unten nachzusehen.

Analysieren wir die Versuchszahlen der Tabelle 93, so sind aus den für die 3 verschiedenen Röhrenquerschnitte gefundenen Schallstärkewerten 7,154 = S_1, 8,498 = S_2 und 12,893 = S_3 diejenigen Schallhemmungen (y) zu entfernen, welche constant sind, d. h. dem Leiter (der in den Röhren eingeschlossenen Luft) nicht angehören. Nach der Formel $\frac{\Sigma S - x\Sigma l}{N}$ (s. auch § 35) erhalten wir y = 6,377. Wird letzterer Wert abgezogen von den obigen S_1, S_2 und S_3, so hat man folgende Schallschwächungen:

Tabelle 41.

Röhrenquerschnitte	Schallstärken	Röhrenumfang in Cm
10,17 QCm = 1	0,777 S_1 = 1	11,31 = 1
30,17 QCm = 2,96	2,121 S_2 = 2,73	19,47 = 1,72
90,04 QCm = 8,85	6,516 S_3 = 8,39	33,64 = 2,974

Nach unserem Fundamentalgesetz nimmt die Schallschwächung zu mit der vom Schall durchzogenen Masse des Leiters; deshalb muss die Schallschwächung in den 3 gleichlangen, aber verschieden breiten, Röhren den Querschnitten derselben in der vorliegenden Tabelle proportional sein. Die Vergleichung der Querschnitte mit den Schallstärken ergiebt mit befriedigender Annäherung, dass das in der That der Fall ist; doch bleibt die Schallschwächung mit zunehmendem Querschnitt ein wenig und zwar in constanter Weise hinter letzterem zurück. Die nächste Annahme wird also sein müssen, dass wir es hier mit zwei schallhemmenden Einflüssen zu thun haben, die bedingt sind durch die Masse (in unserem Fall also durch den Querschnitt) der Luftsäulen, d. h. durch die Reibung der Luftteilchen unter sich, und (in viel geringerem Grad) durch die Peripherie der Luftsäulen, d. h. durch die Reibung der Luftteilchen an der Röhrenwandung. Die Röhrenperipherie ist in obiger Tabelle in absoluten und wiederum rela-

tiven Werten angegeben. Der Einfluss der Röhrenwandung wird freilich nur sehr gering sein, da ja seine Vernachlässigung sich nur in sehr geringem Grad, wie obige Tabelle zeigt, geltend macht. Schwankende Werte werden wir also zu erwarten haben. Nennen wir den ersteren Schallstärkeverlust z, den zweiten w, so können wir beide Schwächungen, die sich einfach addieren, gesondert berechnen mittelst der Gleichungen:

a) 10,17 z + 11,31 w = 0,777,
b) 30,17 z + 19,47 w = 2,121,
c) 90,04 z + 33,64 w = 6,516.

Aus a und b erhalten wir für z den Wert 0,061863. Es ist 0,061863 × 10,17 = 0,6291. Ziehen wir letztere Zahl ab von 0,777, so ergiebt sich für 11,31 w 0,148, also für 1 Cm Peripherie 0,01309.

Aus den Gleichungen b und c ergiebt sich 0,07521 = z, aus a und c aber 0,07034.

Das Mittel von z aus diesen 3 Bestimmungen ist = 0,06914.

Die Summen der Produkte der Querschnitte in die z = Werte sind 9,0145, die Summen der Schallstärken 9,414, die Summen der Röhrenperipherien = 64,4; also ist $w = \frac{9{,}414 - 9{,}0145}{64{,}42} = 0{,}00620$.

Führen wir z = 0,06914 und w = 0,00620 in obige 3 Gleichungen ein, um die berechneten Werte der Schallstärken mit den gegebenen zu vergleichen so hat man:

Tabelle 42.

	Produkte von z	Produkte von w	Schallstärken berechnet	gefunden	Differenz
a)	0,7031	0,0701	0,7732	0,777	0,0038
b)	2,0860	0,1207	2,2067	2,121	0,0857
c)	6,2255	0,2085	6,4340	6,516	0,0820

Die drei verschiedenlumigen Röhren waren, wie erwähnt, jeweils 91,7 Cm lang. Also erhält man, wenn die Summe der Produkte der w (Tab. 42) durch die Summe der Areale der Röhreninnenwand dividiert wird, ausgedrückt in Schallstärkewerten der Schallquelle (Elfenbeinrecipient), die Schwächung, welche der Schall in Folge der Reibung der Luftteilchen durch 1 QCm Röhrenwandung erleidet; dieselbe beträgt: $\frac{0{,}3993}{5794{,}51} = 0{,}0006891$. Man hat, wenn das Verhältnis einzeln berechnet wird für:

$$a)\ \frac{0{,}0701}{924{,}33} = 0{,}00007583$$

$$b)\ \frac{0{,}1207}{1785{,}40} = 0{,}00006760$$

$$c)\ \frac{0{,}2085}{3084{,}78} = 0{,}00006758$$

$$\text{Mittel: } 0{,}00007034$$

Bei den elastisch-flüssigen, sowie den tropfbaren Leitern sind also bei den Widerständen (resp. Schallverlusten) innere z und äussere w (Oberflächenwiderstände) zu unterscheiden. Die Bestimmung der x genügt somit nicht mehr vollständig, da $x = z + w$. Bei der Leitung durch starre Körper, welche von Luft umgeben sind, wird w nur dann in Betracht kommen, wenn der Körper nicht zu geringe Schwingungen macht; ist derselbe aber von Wasser umgeben, das seine Schwingungen viel leichter aufnimmt, als die Luft, so wird auch w sich merklich geltend machen. Um Versuche nach dieser Richtung anzustellen, habe ich vorerst nicht die erforderliche Zeit gehabt.

Ich will schon hier bemerken, dass w unter Umständen sich eingreifend geltend machen kann; s. z. B. die Schalleitung durch Wasser (§ 49 und 50).

---

§ 35. Berechnung des wahrscheinlichen Messungsfehlers.

Schliesslich wäre noch die Bestimmung des wahrscheinlichen Fehlers zu erörtern, mit welchem die aus einer Versuchsreihe berechnete Schallschwächung behaftet ist.

Das Gesetz der mit der Fortpflanzung des Schalles verbundenen Schallschwächung lässt sich von vorn herein unter 3 Formen darstellen:

$$x = \frac{S_p - S_q}{l_p - l_q}$$

$$x\,(l_p - l_q) = S_p - S_q$$

$$l_p - l_q = \frac{S_p - S_q}{x}$$

Nach jeder dieser Formen lässt sich ein Vergleich zwischen

Beobachtung und Rechnung in der Art anstellen, dass die Abweichungen zwischen beiden Seiten als Fehler δ gelten, und dass nach Massgabe als $\Sigma\delta^2$ kleiner gefunden wird, der Wert x als sicher bestimmt zu gelten hat; nur lässt sich aus dem so gewonnenen $\Sigma\delta^2$, auf welche dieser drei Weisen es auch bestimmt sein mag, der wahrscheinliche Fehler von x nicht finden; auch bieten die vorigen Formen keinen Anhalt zur korrekten Anwendung der Methode der kleinsten Quadratsummen, weil darin nur Differenzen zwischen den beobachteten S_n, nicht die beobachteten S_n für sich selbst eingehen. Nach beider Beziehung ist eine andere Aufstellungsweise des Gesetzes im Vorteil, welche sich unter folgender, mit D zu bezeichnenden, Form darstellt

$$x\, l_n + y = S_n \ldots (D),$$

worin y den, durch Rechnung zu findenden, also vorerst als unbekannt zu betrachtenden Wert S bedeutet, welchen die zur Empfindungsschwelle erforderliche Schallstärke annehmen würde, wenn man am Phonometer, bei vergleichbar bleibenden Umständen, ohne eingeschobenes l, also bei $l = o$ beobachtete. Wegen der besonderen Vorteile dieser Aufstellungsweise des Gesetzes wird auf die Erläuterung und Verwendung der Formel (D), wodurch sich dieselbe ausdrückt, etwas näher einzugehen sein. Zuvörderst sieht man, dass die Gleichung (D) mit der Gleichung

$$x\,(l_p - l_q) = S_p - S_q$$

unmittelbar stimmt, wenn man D einmal als

$$xl_p + y = S_p$$

das andre Mal als

$$xl_q + y = S_q$$

darstellt, und die zweite Gleichung von der ersten abzieht.

Demnächst ist ausdrücklich zu bemerken, dass unter y nicht der Wert S (s. über die Bezeichnungen auch § 32) zu verstehen ist, den man direkt erhalten kann, wenn man wirklich ohne Einschiebung von l am Phonometer beobachtet. Dieser Wert soll zur Unterscheidung von y vielmehr mit y_1 bezeichnet werden; er unterscheidet sich von dem aus der Gesamtheit der Versuche bei gegebenem l herauszurechnenden y mehr oder weniger. Vielmehr hat man zur Gewinnung von y bei einer gewissen Anzahl von l_n die zugehörigen Werte S_n zu beobachten, und findet hienach, wie unten zu beweisen, den Wert y leicht durch folgende Gleichung, die mit $\square$ bezeichnet werde:

$$y = \frac{\Sigma S_n - x\Sigma l_n}{N} \ldots \square$$

d. h. man wird, um y zu erhalten, erst x nach der dafür als gültig angesehenen Formel, (am besten nach dem Verfahren I Fechner's), zu bestimmen, die Summe der l_n, bei denen man beobachtet hat, als Σl_n zu nehmen, das Produkt $x\Sigma l$ von der Summe der S_n abzuziehen, und den Rest mit der Zahl N der l_n, an denen beobachtet worden ist, zu dividieren haben.

Diese Gleichung leitet sich leicht, wie folgt, ab:

Gehen wir aus von der Gleichung

$$x\,(l_p - l_q) = S_p - S_q.$$

Soll sie allgemein gelten, so muss sie auch für den Fall gelten, wo $l = 0$ ist, und S_n durch S ausgedrückt wird. Hiernach hat man, wenn man in voriger Gleichung den Index p successiv durch 1, 2, 3 . . ., den Index q aber überall durch 0 ersetzt, und l_n selbst $= 0$ setzt

$$x\,(l_1 - 0) = xl_1 = S_1 - S_0$$
$$x\,(l_2 - 0) = xl_2 = S_2 - S_0$$
$$x\,(l_3 - 0) = xl_3 = S_3 - S_0$$
$$\text{etc.}$$

Also durch Summierung:

$$x\Sigma l_n = \Sigma S_n - NS,$$

mithin

$$S = y = \frac{\Sigma S_n - x\Sigma l_n}{N}$$

Nehmen wir beispielsweise diese Bestimmung für die Versuchsreihe (§ 54) mit Luft vor, deren Daten sind:

l	S	
45,8	11,935	Hieraus nach der
91,7	13,618	Formel Fechner's
137,5	15,162	(pag. 132)
502,0	25,204	$x = 0{,}02843.$
$\Sigma l = 779{,}0$	$\Sigma S = 65{,}919$	

Also

$$y = \frac{65{,}919 - 0{,}02843 \cdot 779{,}0}{4} = 10{,}9433.$$

Und hienach ist die allgemeine Formel D, für Luft specificiert,

$$0{,}02843\ l_n + 10{,}9433 = S_n.$$

Dass nun wirklich die nach dieser Formel berechneten Werte S_n mit den obigen beobachteten sehr nahe stimmen, ergiebt sich durch folgenden Vergleich derselben.

Tabelle 43.

S beobachtet	S berechnet $xl_n + y$	δ	δ^2
11,935	12,245	0,310	0,0961
13,618	13,550	0,068	0,004624
15,162	14,852	0,310	0,0961
25,204	25,272	0,068	0,004624
		$\Sigma\delta = 0{,}756$	$\Sigma\delta^2 = 0{,}2014448$

Mittelst dieses Wertes von $\Sigma\delta^2$ lässt sich der wahrscheinliche Fehler von x sowohl, als von y bestimmen; man findet

$$w_x = 0{,}0006176$$
$$w_y = 0{,}16441.$$

Hiernach sind die Werte von x und y für Luft nach der angegebenen Versuchsreihe zu schreiben:

$$x = 0{,}02843 \pm 0{,}0006176$$
$$y = 10{,}9430 \pm 0{,}16441.$$

Man hat als wahrscheinlichsten Wert x, welcher die beiden Bedingungen vereinigt, das kleinste $\Sigma\delta^2$ zwischen beobachteten und berechneten $S_p - S_q$, sowie zwischen beobachteten und berechneten einfachen S_n zu geben (nach dem Verfahren I F e c h n e r's).

$$x = \frac{[l_p - l_q]\,[S_p - S_q]}{[l_p - l_q]^2} = 0{,}02843 \text{ in obigem Beispiel.}$$

Nachdem x bestimmt ist, bekommt man (s. oben Formel □):

$$y = \frac{[S] - x\,[l]}{N} = 10{,}9433 \text{ in obigem Beispiel.}$$

Um die wahrscheinlichen Fehler w von x und y zu gewinnen, hat man folgende Operationen nötig:

1) Man bildet aus den erhaltenen Werten x und y mit den gegebenen l_n die Werte $xl_n + y$ und setzt

$$xl_n + y = \text{berechnete } S_n.$$

2) Man nimmt die Differenzen δ zwischen diesen berechneten und den beobachteten S_n und quadriert sie, um hieraus die Summe δ^2 zu erhalten.

3) Man bildet den Wert

$$K = N\,[l_n^2] - [l_n]^2$$

d. h. man zieht, um K zu erhalten, die zum Quadrat erhobenen Summen der l_n von den N fachen Summen der Quadrate der l_n ab.

4) Man bildet den Wert

$$\Pi = \frac{0{,}6744897}{\sqrt{N-2}} \sqrt{\frac{[\delta^2]}{K}}$$

mit Hilfe von log 0,6744897 = 0,82898 — 1. Der Logarithmus des

ganzen Wertes $\frac{0{,}6744897}{\sqrt{N-2}}$ ist 0,82898 — 1; 0,67846 — 1; 0,59042 — 1

je nachdem N = 3 4 5.

5) Endlich hat man

$$w_x = 11\sqrt{N}$$
$$w_y = 11\sqrt{[l_n^2]}$$

Sei x aus mehreren Versuchsreihen bestimmt und seien hierbei die Werte a, b, c ... mit den zugehörigen wahrscheinlichen Fehlern α, β, γ ... erhalten; es soll aber aus allen diesen Bestimmungen der wahrscheinlichste Wert von x, welcher X heisse, abgeleitet werden, so bilde man die Werte

$$\frac{1}{\alpha^2} = A,\ \frac{1}{\beta^2} = B,\ \frac{1}{\gamma^2} = C \ldots \text{ etc.}$$

Dann ist

$$X = \frac{aA + bB + cC \ldots}{A + B + C \ldots}$$

und der wahrscheinliche von X

$$w_X = \frac{1}{\sqrt{A + B + C \ldots}}.$$

Hat man bloss 2 Bestimmungen a, b, so kommt dies darauf zurück, zu setzen:

$$X = \frac{a\beta^2 + b\alpha^2}{\alpha^2 + \beta^2} \qquad w_X = \sqrt{\frac{\alpha^2\beta^2}{\alpha^2 + \beta^2}}.$$

Entsprechend wie mit x wird man auch mit y verfahren können. Man findet nach obigen Verfahrungsweisen

$$w_x = 0{,}0006176$$
$$w_y = 0{,}16441.$$

Somit sind die Werte von x und y für das hier in Rede stehende Beispiel (Luft) zu schreiben:

$$x = 0{,}02843 \pm 0{,}0006176$$
$$y = 10{,}9430 \pm 0{,}1644.$$

---

§ 36. Abänderung der Reihenfolge der schalleitenden Schichten.

Beim Messen der Schwächung, welche der Schall während seines Durchgangs durch ein beliebiges starres Medium erleidet, muss letzteres an irgend einer Stelle der Phonometerleitung ein-

geschaltet und das entsprechende S_1 bestimmt werden. Dieses S_1 ist notwendig grösser, als das S der gewöhnlichen Dynamiebestimmung, welche zwischen der Schallquelle (Phonometerplatte) und dem Ohr bloss den Conductor einschaltet. $S_1 - S$ drückt demnach in irgend einem *s*-Wert die Schwächung aus, welche der Schall bei seinem Fortschreiten in dem untersuchten Medium erlitten hat.

Dabei ist strenge genommen vorauszusetzen, dass bei der S_1-Bestimmung alle sonstigen Versuchsbedingungen genau dieselben wären, wie bei der S-Bestimmung, mit Ausnahme der durch das eingeschaltete Medium, dessen Leitungsfähigkeit eben geprüft werden soll, bedingten Schallschwächung.

Dieser Voraussetzung kann aber in aller Strenge nicht genügt werden, insofern ihr ja schon die unumgänglich notwendige Versuchsanordnung widerspricht. Um mich auf einen der einfachsten Fälle zu beschränken, so haben wir bei der gewöhnlichen Dynamiebestimmung folgende Uebergangs- und inneren Widerstände, wobei erstere mit kleinen, die letzteren (d. h. die Hemmungen, welche der Schall beim Fortschreiten in demselben Medium erleidet) mit grossen Buchstaben bezeichnet werden sollen: 1) Uebergang von der Phonometerplatte in den Conductor = a; 2) Fortleitung im Conductor = A; 3) Uebergang vom Conductor in das Ohr = d; 4) Fortleitung durch die Schalleiter des Ohres bis ins Labyrinth = e. Letzterer Wert ist somit unter allen Umständen constant.

Schalten wir zwischen der Phonometerplatte und dem Conductor den zu prüfenden Schalleiter ein, so sind die nunmehrigen Widerstände: 1) Uebergang von der Phonometerplatte in den Leiter = b; 2) Fortleitung im Leiter = B; 3) Uebergang vom Leiter in den Conductor = c; 4) Fortleitung im Conductor = A; 5) Uebergang vom Conductor in das Ohr = d; 6) Fortleitung im Gehörorgan = e.

Demnach hat man folgende Widerstände:

bei der Dynamiebestimmung $S = a + A + d + e$,

bei der S_1-Bestimmung $= A + d + e$,

samt den neuen Widerständen $b + B + c$, während a wegfällt.

Dabei ist selbstverständlich vorausgesetzt, dass die Gehörsempfindlichkeit des Beobachters in beiden Versuchsanordnungen dieselbe ist, welche Forderung als erfüllt betrachtet werden kann, wenn die Zahl der Versuche eine genügende ist.

Die Einschaltung des Leiters stellt demnach keineswegs eine

vollständige Gleichheit aller übrigen Bedingungen (mit Ausnahme des Leiters) in beiden Versuchsreihen her, die der strengen Forderung nach vollkommen gleich sein sollten. Ist letzteres materiell unmöglich, so kann gleichwohl der Grad der Ungleichheit experimentell ermittelt und dadurch jedes Bedenken gegen die volle Gültigkeit der Methode beseitigt werden.

Handelt es sich um den inneren Widerstand B des Leiters, dessen Wirkung in der Summe (b + B + c — a) enthalten ist, so kann man durch Abänderung der Länge des Leiters den Wert von B für die Längeneinheit des Leiters experimentell bestimmen. In § 41 sind Beispiele der Art mitgeteilt und zwar selbst für solche Leiter, die den Schall nur wenig schwächen.

Ist die Schallschwächung des Leiters aber eine grosse, so kann die Summe (b + c — a) der übrigen Einflüsse nicht in Betracht kommen.

Ausserdem kann man über den relativen Wert der Uebergangswiderstände b und c bis zu einem gewissen Grad Aufschluss bekommen, wenn man die Reihenfolge der leitenden Schichten abändert. Stellen wir den Conductor auf die Phonometertafel und zwischen Conductor und Ohr die zu prüfende leitende Schicht, so sind die Widerstände nunmehr 1) a, 2) A, 3) c, insofern der Uebergangswiderstand vom Leiter in den Conductor ohne Zweifel dem Widerstand in umgekehrter Richtung völlig oder doch sehr annähernd gleich gesetzt werden kann, 4) B, 5) f, als Uebergangswiderstand vom Leiter ins Ohr 6) e. Im Vergleich zum S-Versuch kommt somit a nicht in Wegfall, wohl aber d, das durch f ersetzt wird.

Um diese Frage mittelst der allereinfachsten Versuchsbedingung experimentell zu erörtern, wurde der Leiter weggelassen und bloss der Conductor an dem einen Ende mit einer, resp. zwei, fremden Schichten versehen.

An das eine Ende eines Eichenholzconductors von gewöhnlicher Beschaffenheit wurde mittelst Siegellack eine dünne Messingscheibe vom Durchmesser (3 Cm) des Conductors befestigt. Der Conductor wurde in der einen kleinen Versuchsreihe mit dem Messingende, in der anderen mit dem breiten (4 Cm Durchmesser) Ende, das gewöhnlich mit dem Ohr in Berührung kommt, auf die Schiefertafel gesetzt. Im ersten Fall ging also der Schall von der Phonometertafel der Reihe nach in Messing, Siegellack, Conductor, Ohr; im zweiten Fall aber in Conductor, Siegellack, Messing, Ohr.

Die Resultate sind (mit Weglassung einiger Versuche, die übermerkliche Schallgrössen angeben) in folgender Tabelle enthalten.

Das bei den Versuchen gebrauchte Bleikügelchen war 3,4 Mg schwer. Die Zahlen bedeuten die absoluten Zahlen der Fälle.

Tabelle 44.

	Das Messingende des Conductors auf die Phonometerplatte gestellt (A)			Das Holzende des Conductors auf die Phonometerplatte gestellt (B)			
S	Richtig	Falsch	Vexier-versuche Richtig	Richtig	Falsch	Zweifelhaft	Vexier-versuche Richtig
6,50	12	—	6	12	—	2	4
5,76	30	5	2	8	4	—	4

Demnach sind die A-Versuche um eine, jedenfalls sehr geringe, Grösse im Vorteil. Ich wollte diese wenigen Versuche deshalb nicht vermehren, weil das Andrücken des Ohrs an die Messingplatte, wegen ihres geringen Durchmessers, etwas unbequem war. Die mit dem Ohr in Berührung kommende Platte muss nämlich zum bequemen Gebrauch einen Durchmesser von 4 Cm haben.

In einer anderen ähnlichen Versuchsreihe wurde für bequemere Anlegung des Ohrs an den Conductor gesorgt. An das untere Ende eines Eichenholzconductors von gewöhnlicher Form wurde mittelst Siegellack eine Zinnplatte von 4 Cm Durchmesser und 5 Mm Dicke befestigt. Auch hier wurde die Schiefertafel benützt; das Fallgewicht war immer 2,7 Mg, die Fallhöhen wechselten zwischen 7 bis 1,5 Mm. Mit Weglassung nahezu sämtlicher übermerklichen Schalle (12 Versuche) sind die in Betracht kommenden, an der Grenze der Merklichkeit stehenden, Fälle von S in nachfolgender Tabelle verzeichnet.

Die Tabellenzahlen bedeuten die absolute Zahl der Einzelversuche. Diese Versuche sind, sowie die der vorherigen Tabelle 44, nebenbei bemerkt, nach anderthalbjähriger Pause, innerhalb welcher ich nicht ein einziges akustisches Experiment angestellt hatte, ausgeführt worden; sie belehrten mich, dass meine Hörschärfe in dieser Zeit nicht die geringste Einbusse erlitten hatte. Die 3 Versuchstage folgten unmittelbar auf einander. In der einen Reihe der Versuche (A) wurde die Zinnplatte des Conductors auf die Phonometerplatte gesetzt, so dass das Holzende mit dem Ohr in Berührung kam, während in der B-Reihe das Holzende des Conductors auf die Phonometerplatte gestellt wurde und die Zinnplatte des Conductors den Schall dem Ohr unmittelbar zuleitete.

Tabelle 45.

S	Die Zinnplatte des Conductors steht auf der Phonometertafel (A)			Das Holzende des Conductors steht auf der Phonometertafel (B)			
	Richtig	Falsch	Unentschieden	Richtig	Falsch	Unentschieden	
5,64	2	—	—	2	—	—	1ter Tag Nachmittags. Die 6 Vexierversuche alle richtig.
5,16	9	2	1	7	—	2	
3,95	2	2	—	—	—	—	
6,07	2	—	—	4	—	—	2ter Tag Vormittags. 12 Vexierversuche richtig, 2 falsch.
5,64	2			1			
5,16	16	2	1	24	8	2	
4,58	6	1	1	8	1	1	
6,07	1	—	—	1	—	—	3ter Tag Vormittags. Sämtliche 9 Vexierversuche richtig.
5,64	2	1	—	1	—	—	
5,16	3	—	—	2	—	—	
4,58	5	—	1	5	—	1	
3,95	4	—	—	2	3	1	
3,44	2	2	—	—	4	—	

Sehen wir ab von den Versuchen des ersten Tags, die, wie bemerkt, nach langer Pause angestellt wurden, so war am zweiten Tag der S-Wert in der A-Reihe 5,16 (in etwa $^5/_6$ der Fälle), in der B-Reihe wiederum 5,16 (in etwa $^2/_3$ der Fälle). Obschon das S 4,58 der B-Reihe eine Ausnahme ergiebt, so ist doch so gut wie sicher, dass die A-Reihe ein wenig im Vorteil ist.

Am zweiten Tag ist S in der A-Reihe etwa 3,95, in der B-Reihe etwa 4,58.

Die Abänderung in der Reihenfolge der Schichten des Conductors ist somit in diesen Versuchen nur von geringem Einfluss auf die Schallschwächung, dessen genauer Betrag allerdings nur durch eine grosse Versuchsreihe festgestellt werden könnte. Er mag etwa $^1/_{13}$ zu Gunsten der A-Versuche betragen.

Daraus schliesse ich nicht, dass in diesen Versuchen mit einem sonst gut leitenden Medium (Eichenholz) der Uebergangswiderstand wenig in Betracht käme. Der grösste Teil der zwischen 3,5 bis 4,7 s liegenden Schallschwächung fällt sicherlich auf die zwei Uebergangswiderstände an beiden Conductorenden; wohl aber ist anzunehmen, dass die Reihenfolge der schallschwächenden Schichten, wenigstens bei unseren Materialien, keinen grossen Einfluss äussere. Daraus geht aber hervor, dass in derartigen Ver-

suchen sämtliche Schallhemmungen annähernd gleich gross sein werden, mit Ausnahme der Schallschwächung, die durch das eingeschaltete Medium bedingt ist und deren Grösse in diesen Versuchen ermittelt werden soll.

---

§ 37. Wegfall eines Uebergangswiderstandes in einer Reihe schalleitender Schichten.

An der 2406 G schweren (s. pag. 27) Zinnphonometertafel wurde der § 36 erwähnte modificierte Eichenholzconductor, an dessen einem Ende eine Zinnplatte mit Siegellack befestigt war, in der Art geprüft, dass in der einen Versuchsreihe das Zinnende, in der andern aber das Holzende des Conductors auf die Zinnphonometertafel gestellt wurde.

Die Widerstände bei der ersteren Versuchsanordnung sind also: 1) Phonometertafel in die Zinnplatte des Conductors = a; dieser Widerstand ist aber, da der Uebergang in dasselbe Material erfolgt, = 0; 2) in der Zinnplatte = A; 3) Zinn-Siegellack = b; 4) im Siegellack = B; 5) Siegellack in das Holz des Conductors = c; 6) im Holz des Conductors = C; 7) Holz des Conductors in das Ohr = d; 8) im Ohr = e.

Bei der zweiten Versuchsanordnung haben wir 1) Zinnphonometertafel in das Holz des Conductors = f; ferner 2) C; 3) Holz des Conductors in Siegellack = c (jedenfalls aber nahezu c); 4) B; 5) b; 6) A; 7) Zinnplatte in das Ohr = g; 8) im Ohr = e.

Somit sind nahezu alle Widerstände in beiden Versuchsanordnungen dieselben, während im ersten Fall der Uebergangswiderstand d, im zweiten Fall die zwei Uebergangswiderstände f und g hinzukommen.

In folgender Tabelle, deren Zahlen wieder die absoluten Zahlen der Einzelbestimmungen darstellen, sind die Versuche in ihrer zeitlichen Reihenfolge aufgeführt; wenn irgend thunlich, wurde mit je 2 bis 3 Bestimmungen beider Versuchsanordnungen regelmässig abgewechselt, um den etwaigen Einfluss der Schwankungen der Hörschärfe im Verlauf der Versuchszeit möglichst zu beseitigen.

Hatte ich es jedoch mit sehr übermerklichen Schallen in dem einen, mit weniger gut merklichen in dem andern Fall (bei glei-

chem s) zu thun, so konnte die Zahl der Messungen im ersteren Fall ohne Gefahr beschränkt werden.

Ich gebe als weitere Specialbelege zur Beurteilung meiner Versuchsmethode in der Tabelle sämtliche Versuche, selbst die mit stark übermerklichen Schallen. Der Exponent ε wurde zu 0,596 bestimmt; ich rechne mit 0,59.

Tabelle 46.

Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	s resp. S	(A) Zinnende des Conductors auf die Phonometertafel gestellt.			(B) Holzende des Conductors auf die Phonometertafel gestellt.			
			Richtig	Falsch	Unentschieden	Richtig	Falsch	Unentschieden	
6,3	6	18,14	6	—	—	4	—	1	
»	5	16,25	7	—	1	6	1	1	Erster Tag (Abends). Sämtliche 15 Vexier-Versuche richtig.
»	4	14,30	6	—	—	4	2	1	
»	3	12,03	4	—	2	1	3	2	
»	2	9,45	2	—	—	—	2	—	
4,35	3	8,31	4	2	—	—	2	—	
4,35	13	19,74	1	—	—	1	—	—	
»	10	16,92	2	—	—	3	—	—	
»	9	15,91	1	—	—	5	—	3	
»	8	14,83	2	—	—	4	1	3	
»	7	13,70	4	—	—	1	4	—	Folgender Tag (Vormittags). Sämtliche 10 Vexier-Versuche richtig.
»	5	11,22	2	—	—	—	—	—	
»	3,5	9,09	5	—	—	—	2	—	
»	2,5	7,48	5	1	1	—	—	—	
»	2	6,43	1	1	1	—	—	—	
»	3	8,31	6	2	—	—	—	—	
»	3,2	8,65	6	—	—	—	—	—	
»	9,5	16,40	—	—	—	5	—	—	

Am ersten Tag ist S (diejenige schwächste Schallstärke, welche ungefähr in allen Fällen noch gehört wird) in der A-Reihe 9,45, in B aber 18, 14.

Am zweiten Tag beträgt S in A 8,65, in B aber 16,40.

Am ersten Tag war ich minder scharfhörig, was von der Tageszeit und ganz sicher auch einer vor den Versuchen getrunkenen Flasche Bier abhing. Beide Tage differieren in der A-Reihe um 0,80 s, in der B-Reihe um 1,74 s.

Vergleichen wir die A- mit der B-Reihe, so stellen sich für erstere weit günstigere Leitungsbedingungen heraus, wie nicht anders zu erwarten ist, da bei A ein grosser Uebergangswiderstand (von der Phonometerplatte in den Conductor) wegfällt. Von be-

sonderem Interesse ist nun, dass die Differenz B minus A in beiden Versuchsreihen keine grossen Verschiedenheiten bietet, indem sie 8,69 und 7,75 beträgt.

Aus diesen Versuchen folgt der, auch durch anderweitige Erfahrungen bestätigte, für die Schallstärkemessung wichtige Satz: ein bestimmter schallhemmender Einfluss (z. B. das Hinzukommen neuer Schallhemmungen in der B-Reihe obiger Tabelle im Vergleich zur A-Reihe) schwächt die Schallstärke immer um denselben absoluten, in *s* ausdrückbaren Betrag, ganz unabhängig von dem Grad der jeweiligen Hörschärfe (individuellen akustischen Dynamie).

Ferner folgt: der absolute Unterschied der in S-Werten ausgedrückten absoluten Hörschärfe zweier Individuen, resp. desselben Individuums zu verschiedenen Zeiten bei wechselnder individueller akustischer Dynamie, lässt sich an jedwedem schalleitenden System, dasselbe mag den Schall stark oder (wie das bei der gewöhnlichen Dynamiebestimmung der Fall ist) nur wenig schwächen, in s-Werten messen.

Die Erfahrungen dieses § sind mit Einem Wort neue und sichere Beweise, dass es bei der, mit der Fortleitung verbundenen, Schwächung des Schalles nicht etwa auf das Verhältnis der ursprünglichen Schallstärke zu der Leitungsfähigkeit der vom Schall durchflossenen Schichten, oder zur individuellen akustischen Dynamie des Beobachters ankommt, sondern immer nur auf den in s-Werten messbaren absoluten Betrag der Schallschwächung, der unter allen Umständen und bei allen denkbaren Versuchsanordnungen unverändert bleibt.

---

§ 38. Die variabelen und constanten Widerstände bei der Leitung des Schalles.

Schon in § 25 ist von Versuchen die Rede gewesen, welche H. Vierordt als Vorstudien zur auscultatorischen Phonometrie angestellt hat. Sie betreffen die Schwächung, welche der Schall erleidet beim Durchgang durch verschieden lange Schichten, die abwechselnd aus Blei- und Kautschukplättchen bestehen. Je ein solches Paar sei als Element bezeichnet; die Plättchen eines Ele-

mentes, sowie auch die Elemente unter sich, sind durch dünne Siegellacklagen mit einander verbunden. Die zu den Versuchen benützten Schichten bestanden aus 1 — 2 — 4 — 8 — 16 Elementen. Schallquelle war die gewöhnlich gebrauchte Zinntafel, die durch Bleikügelchen erschüttert wurde. Auf die Zinntafel wurde irgend eine der 5 Schichten und auf letztere wiederum der gewöhnliche Eichenholzconductor gesetzt. Die Schallstärken wurden jedesmal so gewählt, dass immer nur eine Schwellenempfindung entstand. Das Nähere über die Versuche s. § 25.

Die Schallschwächung wächst selbstverständlich mit der Zahl der Elemente, welche zwischen Schallquelle und Conductor eingeschaltet werden. Wird der Conductor direkt auf die Zinntafel gestellt, so erhält man die akustische Dynamie der Versuchsperson, die (bei der grossen Feinhörigkeit derselben) bloss 4,3 MgMm im Mittel beträgt. Die nachfolgende Tabelle enthält (ausgedrückt in Schalleinheiten des benützten Zinnphonometers) die Schallstärken, S_1 u. s. w., die erforderlich sind beim Durchgehen des Schalles durch die genannten 5 Schichten, um jeweils eine Schwellenempfindung auszulösen. Näheres über derartige Versuche s. im dritten Teil § 63, Tabelle 112.

Tabelle 47.

Zur Schwellenempfindung erforderliche Schallstärken.

a	16	Elemente	29,2	S_1
b	8	»	21,0	S_2
c	4	»	15,2	S_3
d	2	»	11,67	S_4
e	1	Element	10,89	S_5.

Berechnen wir nach der Fechner'schen Formel für die 10 möglichen Combinationen der Einzelversuche jedes $l_p - l_q$ samt den zugehörigen $S_p - S_q$ (Vertikalreihe I und II der nachfolgenden Tabelle), samt deren Produkten (Reihe III); ferner in Reihe IV die Quadrate der einzelnen $l_p - l_q$ (der Reihe I).

Tabelle 48.

Combin.	$l_p - l_q$	$S_p - S_q$	$(l_p - l_q)(S_p - S_q)$	$(l_p - l_q)^2$	
a — b	8	8,2	65,6	64	9,93
a — c	12	14,0	168,0	144	14,90
a — d	14	17,53	245,42	196	17,39
a — e	15	18,31	274,65	225	18,63
b — c	4	5,8	23,20	16	4,97
b — d	6	9,33	55,98	36	7,45
b — e	7	10,11	70,77	49	8,69
c — d	2	3,53	7,06	4	2,48
c — e	3	4,31	12,93	9	3,73
d — e	1	0,78	0,78	1	1,24
	72	81,87	924,39 = A	744 = B	

Demnach ist x_a, d. h. die Schallschwächung durch ein Blei-Kautschukelement $= \frac{A}{B} = 1{,}242$.

Zieht man von den S_1, S_2 u. s. w. Werten der Tabelle die Produkte von 1,242 und die Zahl der Elemente ab, so erhält man

S_n		V		C	
29,2	—	19,9	=	9,3	(16 Elemente)
21,0	—	9,9	=	11,1	(8 »)
15,2	—	4,97	=	10,23	(4 »)
11,67	—	2,48	=	9,19	(2 »)
10,89	—	1,24	=	9,65	(1 Element)

Mittel: 9,89.

Man erhält demnach für die Schallstärken S_n sämtlicher Schichten eine Constante C, die in den 5 Versuchsreihen mässig und nicht in einseitigem Sinn um 9,89 schwankt, plus einer Variabelen V, welche der Zahl der Elemente proportional ist. Die Variabele V versteht sich von selbst und harmoniert mit allen meinen, mit zahlreichen sonstigen Schallen angestellten, Versuchen; die Constante C, die als Thatsache auch bei meinen übrigen Experimenten hervortritt, kann ich jedoch nicht vollständig erklären, d. h. in die einzelnen Faktoren auflösen, aus denen sie jedenfalls besteht.

Zunächst ist klar, dass in den mit sämtlichen Blei-Kautschukschichten hergestellten Versuchen, sowie in dem einfachen Dynamieversuch (4,3 S), die Schallschwächung dieselbe sein muss im letzten Stadium, d. h. bei der Fortleitung des Schalles durch den Conductor, sowie durch das Ohr bis ins Labyrinth, weil sämtliche Versuche auf Herstellung einer Hörschwelle, d. h. desselben Effektes beruhen. Diese Schwächung sei = n.

Bei den Schichtenversuchen kommt ausserdem eine Schallschwächung hinzu, die bei der Dynamiebestimmung wegfällt. Jede der 5 Schichten ist nämlich an beiden Enden von einem dünnen Messingplättchen begrenzt, welches Uebergangs- und innere Widerstände w, die jedoch nur gering sein können, bedingt. Also besteht die Constante C bei den Schichtenversuchen 1) aus der Schwächung (m) des Schalles in der Fortleitung durch die Schallquelle, 2) dem ebengenannten w und 3) dem oben erwähnten n. Wir haben also mindestens $C = m + w + n$. Nun ist $m + n$ bei der Bestimmung der akustischen Dynamie $= 4{,}3$; für die Schichtenversuche haben wir aber $9{,}89 - 4{,}3 = 5{,}59$, d. h. einen in der Constanten steckenden Rest, den ich vorerst sachlich nicht erklären kann.

Die Hauptsache ist jedenfalls, dass die »Constante« bei sämtlichen Schichtenversuchen (trotz dreifacher Differenz der ursprünglichen Schallstärken) einen wirklich constanten Wert (sehr annähernd) ergiebt. Diese Thatsache gestattet uns weitere Schlüsse über die Fortleitung des Schalles, nämlich dass derselbe, seine ursprüngliche Stärke mag sein, welche sie wolle, während seiner Leitung in den einzelnen Medien immer um einen von der Beschaffenheit des Mediums selbst abhängenden Wert abgeschwächt wird.

II. Schalleitung durch starre Körper.

§ 39. Die Technik der Messung des Schalleitungsvermögens starrer Körper.

Die von mir verwendeten Technicismen sind folgende:

Verfahren I) Der zu prüfende Körper wird als Phonometerconductor benützt.

Man setzt den starren Körper A, dem man zweckmässig die Form unseres gewöhnlichen massiven Conductors (§ 6) giebt, auf die Phonometerplatte, während das Ohr an dem oberen Ende r des Körpers angedrückt wird. Nun wird die Platte des Phonometers durch ein Fallkügelchen erschüttert, so dass der Schall S_1, durch A gehört, eben noch merklich ist. S hängt also vom Material u. s. w. des A ab.

Sehen wir ab von dem in allen Fällen bei demselben Individuum constanten Leitungswiderstand in der Phonometertafel und im Ohr, so haben wir hier folgende Uebergangs- und innere Widerstände:

Methode A { a) Phonometertafel — Conductor
A) im Conductor
r) Conductor — Ohr.

Wenn nun die mit einander zu vergleichenden Medien aus demselben Material bestehen, aber eine verschiedene Form (Länge, Querschnitt, Faserrichtung u. s. w.) haben, so ändern, wie zum Teil ohne Weiteres ersichtlich ist, zum Teil aber erst durch später zu erwähnende Versuche bewiesen werden kann, sich die Ueber-

gangswiderstände a und r nicht, während nur der Widerstand A variiert, resp. variieren kann, so dass der etwaige Einfluss der Form der Medien aus den Versuchszahlen unmittelbar hervorgeht. Ich habe auf diese Weise eine Reihe von für die auscultatorische Praxis wichtigen Fragen, z. B. ob ein massives oder hohles Stethoskop den Schall besser leitet (§ 20), ob die Länge des Stethoskopes innerhalb der nur mässigen praktisch angewandten Längenunterschiede von erheblichem Einfluss ist, untersucht.

Viel weniger empfehlenswert ist dieses Verfahren, wenn man Conductoren verschiedenen Materiales benützt, um ihre Schalleitungsfähigkeit zu vergleichen, da die oben bezeichneten Uebergangswiderstände a und r je nach den gewählten Materialien sich abändern müssen. Man hat dann in den gemessenen S die Summe der Unbekannten a + A + r (samt dem Leitungswiderstand im Ohr). Diese Endsumme kann allerdings praktisch von Wichtigkeit sein, z. B. wenn es sich nur um die Frage handelt, ob Stethoskope verschiedenen Materiales erhebliche Verschiedenheiten ihres Schalleitungsvermögens zeigen, so kann man (wie ich § 20 verfuhr) das Verfahren unbedenklich anwenden.

Verfahren II) Der zu prüfende Körper bildet den untern Teil des Conductors.

Man stellt den zu prüfenden Körper A auf die Phonometertafel und auf A den Conductor G. Der eben noch merkliche Schall S wird wiederum durch Fallenlassen des Bleikügelchens in der Platte erregt; er geht also aus der Phonometertafel durch A in den Conductor G und von da in das Ohr.

Messungen der Art habe ich in § 25 u. 38 angestellt, woselbst die etwas unvollkommenen Versuchsbedingungen, Schallwiderstände u. s. w. genauer erörtert sind. Die Versuchsanordnung kann aber verbessert und ganz tadellos werden, so dass, wie § 36 gezeigt wird, sowohl der innere Widerstand in A und die beiden Uebergangswiderstände a — a gemessen werden können.

Dieses Verfahren lässt sich immer dann mit Vorteil benützen, wenn der Körper, dessen schallschwächende Wirkung gemessen werden soll, den gehörigen Grad von Starrheit besitzt. Ist der zu prüfende Körper aber weich, so muss auf dieses Verfahren verzichtet werden.

Verfahren III) Der zu prüfende Körper befindet sich ausserhalb des Conductors.

Während bei den vorhergehenden Verfahrungsweisen der zu prüfende Körper zugleich die Dienste des Conductors ausschliess-

lich (bei I) oder doch teilweise (bei II) leistete, so dass der ursprünglich in der Phonometertafel erregte Schall dem Körper mitgeteilt wurde, wird bei der jetzt zu beschreibenden Verfahrungsweise der Schall in den zu untersuchenden Körper und von diesem durch das Phonometer und von da in den Conductor geleitet. Wir haben es also hier mit einer andern Schallquelle zu thun als bei I und II.

Man stellt den Körper A, dessen Leitungsvermögen gemessen werden soll, auf die Phonometertafel und erregt in ersterem durch Herabfallen einer Kugel einen Schall, der nach seiner Fortleitung in der Phonometertafel und im Conductor bis auf den Punkt der Ebenhörbarkeit herabzumindern ist. Die auf das freie (obere) Ende des zu prüfenden Körpers fallende Kugel könnte nur in harten Teilen, Hölzern, Knochen u. s. w. einen genügend starken Schall erregen; deshalb und aus andern Gründen lege ich auf das obere Ende des Teiles eine runde Schieferplatte m (von etwa 3 cm Durchmesser), die schon beim Aufschlagen einer sehr kleinen und durch eine geringe Höhe fallenden Kugel einen verhältnismässig starken Schall giebt. Damit die herabgefallene Kugel auf der kleinen Schieferplatte liegen bleibt, ist letztere mit einem einige Mm hohen Papierring umgeben.

Ich benützte auch statt der kleinen Schieferplatte einen tellerförmigen Recipienten (R) (s. § 6, Fig. 6) von Ahorn- oder Buchsbaumholz, oder von Elfenbein. Der kleine Teller von 2—3 Cm Durchmesser ist von einem ½—1 Cm hohen Rand q umgeben; ein 1—3 Cm langes schmales Zwischenstück verbindet den Teller mit der kreisförmigen Basis t, die auf das obere Ende des zu prüfenden Schalleiters gestellt wird. Das sehr elastische Elfenbein erfordert noch einen Papierrand um den Rand q des Tellers, um die Fallkugel zurückzuhalten. Zweckmässig wird zwischen A und die Platte des Phonometers ein zweites Schieferplättchen m eingeschaltet.

Demnach wird der Schall von m durch A und das zweite m auf die Phonometerplatte, die also bloss als Leiter dient, und von da durch den Conductor (von Eichenholz) dem Ohr des Beobachters zugeführt.

Noch zweckmässiger wird zu diesen Messungen das »vereinfachte Phonometer« benützt (s. § 7). Auf den einen der kurzen Cylinder (B, C) dieses Phonometers wird der zu prüfende Körper A und auf letzteren ein Eichenholzplättchen m gelegt. Dieses ist die Schallquelle; der Schall geht also aus m in den Körper A und von

da in das Phonometer. Vom Uebergang m' des Schalles in den Conductor an sind demnach alle Schalleitungsbedingungen bis in das Labyrinth constant. Man kann mit diesem Verfahren sowohl den innern Leitungswiderstand von A, als auch die Uebergangswiderstände von A in ein constantes Material (Eichenholz in unserem Fall) gesondert messen. Ausserdem lässt sich die Grösse des Uebergangswiderstandes aus A in jedwedes andere starre Medium mittelst dieses Phonometers bestimmen.

IV) Will man — unter Verzicht auf die Messung der Schallschwächung mittelst der Schwellenempfindung — gut hörbare Schalle nach der § 29 beschriebenen allgemeinen Methode verwenden, so ist das einfache Phonometer (§ 7. Fig. 8) zu empfehlen.

Auf den einen Kreis wird ein Cylinder des zu prüfenden Körpers von a Längeneinheiten senkrecht gestellt, auf den andern ein solcher von b Längeneinheiten. Statt die Cylinder selbst als Schallquellen zu benützen, werden auf dieselben zweckmässig zwei Plättchen gelegt, von denen jedes durch eine besondere Fallkugel erschüttert wird. Der Beobachter hört am Conductor C, während das andere Ohr verstopft ist.

Der Cylinder von a Längeneinheiten wird bei jedem Vergleichsversuch angewandt, so zwar, dass immer Schalle von derselben gut hörbaren Stärke durch a geleitet werden; die Vergleichsempfindungen können, wie man sieht, unmittelbar nach einander erfolgen. Die Länge des andern Cylinders (b) variiert. Man verändert demnach die Stärke des Schalles, der durch den b-Cylinder geleitet wird, so lang, bis die betreffende Empfindung dieselbe Intensität hat, wie die auf dem Wege von a vermittelte. Aus der Längendifferenz $b - a$ der Cylinder und der objektiven Schallstärkedifferenz $s - s_1$ lässt sich somit die Schallschwächung berechnen; sie ist für die Längseinheit $= \frac{s - s_1}{b - a}$. Drei bis vier verschiedene Längen von b dienen zur genaueren Ermittelung der Schallschwächung.

Den Vergleichsempfindungen können innerhalb gewisser Grenzen beliebige Intensitäten gegeben werden; bei stärkeren Schallen ist das, freilich nur wenig wirksame, Aufhängen eines dicken Tuches zwischen c und den Cylindern zu empfehlen, allerdings auch Vorsicht geboten wegen etwaigen direkten Hörens durch die Luft (ohne Vermittlung des Conductors).

§ 40. Schalleitung durch starre Körper mit grossen inneren Widerständen.

Sämtliche Weichteile des Organismus bieten — namentlich wenn sie nicht gespannt sind — der Schalleitung grosse Widerstände. Ein specielles physiologisches Interesse führte mich zur Verwendung solcher Leiter, soviel auch vom streng experimentellen Standpunkt dagegen eingewandt werden kann. Bei den im nächsten § geprüften Schalleitern kann eine vollständige Homogeneität der Einzelschichten mit Sicherheit vorausgesetzt werden; bei organischen Leitern würde es sich aber anders verhalten. Sie können unmöglich in ihren Einzelschichten akustisch gleichwertig sein, noch weniger wird vorausgesetzt werden dürfen, dass Stücke desselben Organes, entnommen aus verschiedenen Tieren, sich in Bezug auf ihr Schalleitungsvermögen übereinstimmend verhalten werden. Gleichwohl erhielt ich an diesen, zum Nachweis des allgemeinen Schalleitungsgesetzes nichts weniger als zweckmässigen Leitern schon recht befriedigende Resultate.

Aus dem zu prüfenden Organ schnitt ich ein Stück von quadratischer Säulenform und 4—5 QCm Querschnitt mit einem scharfen Messer aus. Das ausgeschnittene Stück erhielt eine genügende Länge, um zunächst eine möglichst lange, den Schall sehr stark schwächende, Schicht herzustellen; durch spätere Abtrennungen wurden kürzere Schichten von geringerem Leitungswiderstand gewonnen. Unter Umständen wurden nachträglich die Einzelstücke auf einander gelegt, um wiederum längere Schichten zu erhalten.

Das Organstück wurde auf die Schieferphonometerplatte gestellt; auf dem oberen freien Ende des Organstückes lag eine Schieferplatte c von 4—5 QCm Querschnitt und derselben Dicke, wie die Schieferphonometerplatte. Der Schall wurde erzeugt durch eine aus dem Fallapparat auf die Platte c herabfallende Kugel.

In anderen Fällen benützte ich statt der Schieferplatte einen der in § 6 erwähnten tellerförmigen Recipienten.

In einer Vorversuchsreihe wurde mit einer frischen Kalbsleber experimentiert. Das ausgeschnittene Leberstück wurde unmittelbar auf die Schieferphonometertafel gestellt, zur Aufnahme der Fallkugel diente der Elfenbeinrecipient. Wurde letzterer unmittelbar auf die Schiefertafel gesetzt, so war in 2 kleinen, am Anfang

und Ende der mit der Leber angestellten Versuche eingeschalteten Versuchsreihen — beim Auscultieren durch den auf die Schiefertafel gestellten Eichenholzconductor — das zur Herstellung des eben noch merklichen Schalles erforderliche S 2,55 (1,6 Mg Fallgewicht, 2,2 Mm Fallhöhe) und bei einer zweiten Messung 2,78 (1,6 Mg und 2,4 Mm), also im Mittel 2,66 S.

Wird zwischen Recipient und Schieferplatte ein schallschwächendes Medium in oben geschilderter Weise eingeschaltet, so ist ein viel stärkeres S_1 erforderlich, um dem Ohr einen gerade noch merklichen Schall zuzuleiten. Demnach ist $S_1 - 2{,}66$ die (in MgMm ausgedrückte) Schallschwächung durch das eingeschaltete Leberstück.

Tabelle 49.

	Länge des Leberstücks in Cm	S_1	Fallgewicht in Mg	Schwächung der Schallstärke (s) durch das Leberstück in MgMm	
				in der ganzen Schicht	für 1 Cm der Schicht
a)	2,9	283,2	36,5	280,54	97,7
b)	0,5	39,3	23,4	36,64	78,6
					Mittel: 88,2

Die Bedingungen bei den Bestimmungen meiner persönlichen Dynamie und der Schallschwächung im Leberstück waren übrigens, auch abgesehen von dem im letzteren Fall eingeschalteten Leberstück, nicht genau gleich. Im ersten Fall ging der Schall (erregt im Elfenbeinrecipienten) vom Elfenbein in die Schiefertafel und von da in den Conductor über; im zweiten Fall dagegen vom Elfenbeinrecipienten in das Leberstück und von da in die Schiefertafel und den Conductor. Diese Ungleichheit kommt freilich kaum in Betracht gegenüber der hier fast allein den Ausschlag gebenden grossen Schallhemmung in der Leber selbst. Wäre die Leber ein guter Leiter, so würde sich die Ungleichheit der beiderseitigen Versuchsbedingungen viel störender geltend machen.

Da wir, nach § 37, zu unseren Zwecken die Kenntnis der akustischen Dynamie nicht nötig haben, so können wir die Schallschwächung in der Schichteneinheit (1 Cm) Leber viel besser berechnen, wenn wir setzen: $\frac{283{,}2 - 39{,}3}{2{,}9 - 0{,}5} = 101{,}6$ s (des Elfenbeinrecipienten), welchem, wie sogleich gezeigt wird, am Schieferplättchen ein s von rund 300 entsprechen würde.

Das unmittelbare Aufsetzen des Organstückes auf die Phonometerplatte ist nicht zu empfehlen. Ich benützte bei den folgen-

den Versuchen als Schallquelle die oben erwähnte kleine Schieferplatte c, die auf das zu prüfende Organstück gelegt wurde. Letzteres wurde nicht auf die Phonometerschiefertafel gestellt, sondern auf eine zweite kleine Schieferplatte d, die auf der Phonometertafel lag. Also gieng der im Schiefer c erregte Schall in die Leber, von da durch Schiefer d in die Phonometertafel und den Conductor. Die Hauptversuchsreihe ist schon § 29 vom methodischen Standpunkt aus erschöpfend erörtert worden; wegen der Versuchsbedingungen wird auf Seite 128 verwiesen. Für ein 1 Cm langes Leberstück wurde eine Schallschwächung von 270,3 s (des Schieferplättchens) — berechnet nach meinem zweiten Verfahren — erhalten (pag. 133).

Zur Bestimmung meiner individuellen akustischen Dynamie für die nachfolgenden Versuche musste in wiederholten kleinen Versuchsreihen das Bleikügelchen auf die auf der Phonometertafel liegende kleine Schiefertafel c fallen. Das zur Entstehung der eben noch merklichen Schallempfindung erforderliche S war 7,98 [rund 8] MgMm (bei 3 Mm Fallhöhe und Anwendung eines 4,18 Mg schweren Bleikügelchens). Der viel weniger schwingungsfähige Schiefer verlangt also, zur Erzielung derselben Empfindung, ein dreimal grösseres s, als das allerdings weniger wiegende Elfenbein.

Mit einer andern frischen Ochsenleber wurde am nächsten Tag eine neue Versuchsreihe, jede unter veränderten Bedingungen, angestellt. In der Hauptversuchsreihe war durch die Aufhängungsweise der Leber eine möglichste Abspannung derselben, also ein grösseres Schalleitungshindernis, bedingt. Schallquelle war wiederum das Schieferplättchen.

In den folgenden Versuchen wurde das Leberstück mit seinem oberen Ende durch einige dicke Nadeln an einen mit Kork ausgefütterten ringförmigen Halter befestigt, während das untere Ende auf der Phonometertafel stand. Alle Schichten der Leber wurden dadurch möglichst gleichmässig gespannt.

Tabelle 50.

	Länge des Leberstückes in Cm	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	S_1	Schwächung der Schallstärke durch das Leberstück	
					in der ganzen Schicht ($S_1 - 8$)	in 1 Cm Leber
a)	17,5	295	29	2151	2143	122
b)	14,6	295	13	1340	1332	91
c)	10,0	141	26	964	956	96
d)	6,5	132,6	15	684	676	104
e)	2,1	36,5	4,8	92	84	40
f)	1,0	12,6	10	49	41	41
						Mittel: 82

Mit Ausnahme der 2 kürzesten Leberstücke stimmen die für 1 Cm Parenchym berechneten Schallschwächungen so gut mit einander, als bei erstmaligen Messungen der Art nur irgend erwartet werden kann. Die mit der Dicke des leitenden Mediums zunehmende Schwächung des Schalles geht aus obigen Versuchen deutlich hervor. Die durch eine 1 Cm dicke Schicht Leber hervorgebrachte Schallschwächung ist nach meinem ersten Verfahren berechnet. Wenn wir entsprechend meinem zweiten Verfahren sämtliche Combinationen der vornestehenden Tabelle benützen (15 an der Zahl), so ergiebt sich als Schallschwächung für ein 1 Cm dickes Leberstück von angegebenem Querschnitt s = 119.

An einer andern frischen Ochsenleber wurden die nachfolgenden Messungen gemacht, zunächst an einem $13^1/_2$ Cm langen Stück (a), das durch 3 an den Seiten angebrachte Stützen in senkrechter Lage erhalten wurde. Nach Abtrennung eines Teiles wurde ein kürzeres Stück (b) von 9,2 Cm Länge hergestellt, so dass von a noch ein 4,3 Cm langer Rest c blieb. Schliesslich wurde Stück b auf das kürzere abgeschnittene c gesetzt, unter Einschaltung einer kleinen Schieferplatte. Bei dieser Schichtung hatte b 9,1 Cm, c aber nur 3,5 Cm Länge (also 12,6 gegen 13,5 anfänglich).

Tabelle 51.

	Länge des Leberstückes in Cm	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	S_1	Schwächung der Schallstärke durch 1 Cm Leber
a)	13,5	295	27,4	2079	153
b)	9,2	141	25	942	102
c)	12,6 (2 Schichten)	295	25	1980	157
					Mittel: 137

Die Combination von a und b würde demnach zu einer Schallschwächung von 264 s führen, ein Wert, der dem der Hauptversuchsreihe sehr nahe steht. Der aus Tabelle 50 abgeleitete Wert s = 119 ist somit erheblich niedriger; dass dasselbe Organ in verschiedenen Individuen Abweichungen der Schalleitungsfähigkeit zeigen kann, wird nicht auffallen.

Mit verschieden langen Stücken des frischen Musc. gastrocnemius eines Ochsen wurden die nachfolgenden Versuche angestellt. Die kürzeren Schichten wurden durch stufenweise Abtrennung des ursprünglich 15,6 Cm langen Muskelstückes erhalten.

Tabelle 52.

	Länge des Muskelstückes in Cm	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	S_1	Schwächung der Schallstärke durch das Muskelstück	
					in der ganzen Schicht ($S_1 - 8$)	in 1 Cm Muskel
a)	15,6	295	39,4	2575	2567	164
b)	12,2	»	21,0	1776	1768	145
c)	10,0	»	17,4	1591	1583	158
d)	8,1	»	11,8	1266	1258	155
						Mittel: 155

Wenn wir auch hier wieder die Schallschwächung in 1 Cm Muskelschicht aus den 6 nach Tab. 52 möglichen Combinationen der S_1-Werte berechnen, so ergiebt sich im Mittel 161 s.

Statt der soeben mitgeteilten Versuchsreihen hätte ich viel bessere, unter exakteren Nebenbedingungen angestellte, als Beispiele anführen können; ich zog jene aber vor, weil sie meine Erstlingsmessungen auf diesem Gebiet sind. Eine Hauptursache der da und dort vorkommenden starken Abweichungen der Einzelbestimmungen der gemessenen Schallstärke liegt in dem Mangel an Sorgfalt bei der Ausschneidung von Stücken aus der Leber und dem Muskel. Ich war dabei nicht gehörig für Gleichheit des Querschnittes gleicher aus den Organen auszuschneidender quadratischer Säulen bedacht; die Wägung der letzteren wurde leider nicht unternommen. Auch benützte ich zum Teil Stücke von einer Höhe, die durch Druck auf die tieferen Schichten Störungen verursachen musste. So schlechte Schalleiter, wie die meisten Teile des Organismus, werden am besten in verhältnismässig dünnen Schichten (von 1—6 Cm) auf ihr Leitungsvermögen geprüft.

Immerhin aber liess sich schon auf Grund dieser, genügend variierten, Versuche das Gesetz mit Sicherheit ableiten, an welches die allmähliche Abschwächung des Schalles bei dessen Fortleitung gebunden ist: Bei einem und demselben Leiter von überall gleichem Querschnitt ist der Verlust an Schallstärke einfach proportional der Länge der leitenden Schicht.

Die Stärke der Schallschwächung in einem beliebigen begrenzten Medium wird somit in folgender Weise bestimmt. Hätte man nur ein einziges Stück des Leiters zur Verfügung und dürfte dieser nicht in kleinere Stücke behufs der Variation der Versuchsbedingungen zerlegt werden, so muss gleichzeitig zu-

nächst das individuelle S, dessen Messung sonst überflüssig ist, bestimmt werden. Sodann schaltet man das Medium ein, dessen schallschwächende Kraft bestimmt werden soll und bestimmt nach bekannten Regeln den den jetzigen Versuchsbedingungen entsprechenden Wert, zum Unterschied von der individuellen akustischen Dynamie S, mit S_1 bezeichnet.

Demnach ist der absolute Intensitätsverlust s des Schalles beim Durchgang durch das geprüfte Medium, einschliesslich der zwei Uebergangswiderstände $s = S_1 - S$.

Also ist der für 1 Cm der leitenden Schicht von n Längeneinheiten berechnete Intensitätsverlust $s_1 = \frac{S_1 - S}{n}$.

Demnach sind auch in s_1 die beiden Uebergangswiderstände mit inbegriffen.

Man hat also in der Grösse $S_1 - S$ wesentlich den der Schalleitung durch den zu prüfenden Körper entgegengesetzten Widerstand, also das, um was es sich bei unserer Aufgabe handelt.

Die Versuchsbedingungen der S_1- und der S-Bestimmung sind übrigens nicht gleich. Bei der S-Messung ist die Schieferphonometertafel die Schallquelle, bei der S_1-Messung aber ein viel kleineres Schieferplättchen von bloss 3 Cm Durchmesser; beide Schallquellen sind also verschieden. Es lässt sich aber von vornherein erwarten, dass die Unterschiede beider Schallquellen wenig in Betracht kommen werden gegenüber dem sehr grossen Widerstand in den Organen, die als Schalleiter dienten.

In der That, wenn der zu prüfende Körper der Schalleitung einen sehr grossen Widerstand entgegensetzt, wie in den Versuchen der Tab. 50 bis 52, dass die Schallschwächung unter Umständen mehr als 200 bis 300 s beträgt, so verschwinden die sonstigen hier in Betracht kommenden Einflüsse vollständig.

Immerhin schien es mir nötig, die vorliegende Frage durch besondere Versuche zu beantworten.

Zunächst wurde mein augenblicklicher Dynamiewert an der Schieferphonometertafel bestimmt. Sodann wurde ein 10 Cm langer Cylinder von Tannenholz von 3 Cm Durchmesser auf die Phonometertafel gestellt. In der einen Versuchsreihe (A-Versuche der nachfolgenden Tabelle) wurde eine runde Schieferplatte von 3 Cm Durchmesser auf das obere Ende des Tannenholzcylinders gelegt. Die Dicke dieser Schieferplatte war gleich der der Phonometerschiefertafel.

In einer zweiten Versuchsreihe (B-Versuche der Tabelle) wurde

eine Schiefertafel von genau derselben Beschaffenheit, wie die Schieferphonometertafel, auf den Tannenholzcylinder gelegt.

Der Schall wurde in den A- und B-Versuchen in dem auf dem Tannenholz liegenden Schiefer durch Herabfallen von Bleikügelchen erregt, also von da durch das Tannenholz, die Phonometertafel und den Eichenholzconductor dem Ohr zugeführt. Somit waren alle Versuchsbedingungen in der A- und B-Reihe genau dieselben, ausgenommen die Grösse der beiden Schallquellen.

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle enthalten:

Tabelle 53.

	Gewöhnliche Dynamiebestimmung	A-Versuche	B-Versuche	A minus Dynamiewert:	B minus Dynamiewert:
Erster Tag	7,77	9,87	12,50	2,10	4,73
Zweiter Tag	8,23	9,87	15,27	1,64	7,04

Am zweiten Tag sind die Dynamiewerte in den Reihen a — c — d = 6,97 — 9,21 — 8,51, also 8,23 im Mittel (s. Tab. 54).

Das S-Mittel der B-Versuche ist 13,88, der A-Versuche 9,87. Demnach braucht die kleine Schieferplatte einen schwächeren Stoss, um unter sonst gleichen Bedingungen aller übrigen Leitungswiderstände dem Ohr einen Schall von derselben Stärke zuzuführen, als die sehr viel grössere Schieferphonometertafel. Gegenüber den, wie bemerkt, sehr grossen Widerständen in schlechten Schallleitern kommt also diese verhältnismässig kleine Differenz — von 4,0 s in obigen Versuchen — wenig in Betracht.

Bei dieser Gelegenheit teile ich die Einzelversuche des zweiten Versuchstages der Tabelle 53 im Nachfolgenden mit, um wiederholt Anhaltspunkte für die Kritik der Zuverlässigkeit solcher Messungen zu geben.

Tabelle 54.

	Fallhöhe in Mm	Fallgewicht in Mg	S resp. S_1	Richtig	Falsch	Zweifelhaft	Vexierversuche
Dynamiebestimmungen a	10	2,7	10,50	1	—	—	—
	7	»	8,51	2	—	—	—
	5	»	6,97	4	—	—	1
	3	»	5,16	—	2	—	2
	4	»	6,13	1	3	—	2
	5	»	6,97	1	3	—	2
	6	»	7,78	2	—	—	1

	Fallhöhe in Mm	Fallgewicht in Mg	S resp. S_1	Richtig	Falsch	Zweifelhaft	Vexierversuche
Versuche A	6	4,35	12,53	4			1
	5	»	11,22	5			1
	4	»	9,87	2			1
	3	»	8,31	2	1		1
	3,5	»	9,09	3	2	1	2
	4	»	9,87	4			2
Wiederholte Dynamiebestimmung c	8	2,7	9,21	2			
	7	»	8,51	3	2		2
	7,5	»	8,86	2	2		
Wiederholte Dynamiebestimmung d	8	2,7	9,21	2			1
	7	»	8,51	1	2		
	7,5	»	8,86	6	1		1
	7	»	8,51	4	—		2
Versuche B	8,4	4,35	15,27	4			
	7,2	»	13,92	6	3		2
	7,7	»	14,57	4	1		1

Die Bestimmung der Schallschwächung mittelst der Differenz $S_1 - S$ ist somit nur gerechtfertigt, wenn bloss ein einziges Stück des Leiters zur Verfügung steht.

Diese unvollkommene Methode, samt der gleichzeitigen Bestimmung der individuellen akustischen Dynamie, lässt sich aber durch eine tadellose ersetzen, wenn die Länge des Leiters variiert werden kann. Man ist dann (s. § 39, III) sogar im Stande, die Grösse des inneren Widerstandes, sowie auch die der Uebergangswiderstände aus den Messungen gesondert zu berechnen!

---

§ 41. Schalleitung durch starre Körper mit geringen inneren Widerständen.

Nach den in § 27 aufgeführten Erfahrungen älterer Beobachter ist eine sehr geringe Schwächung des Schalles bei der Fortpflanzung durch starre, gehörig gespannte, von Luft umgebene, Medien zu erwarten.

Verschieden lange und jeweils 3 Cm dicke Cylinder von Tannenholz wurden der Reihe nach auf die Phonometerschiefertafel gestellt; das auscultierende Ohr wurde an das obere freie Cylinderende angedrückt. Das bleierne Fallkügelchen (immer $4^1/_2$ Mg schwer) erschütterte direkt die Schiefertafel. Demnach durfte nur die Fallhöhe so verkleinert werden, bis die entsprechenden Schwellenwerte S_1, S_2 u. s. w. gefunden waren.

In Rubrik I—IV ist jeweils nur ein Cylinder (aber von verschiedener Länge) benützt. In Rubrik V sind 2, je 10 Cm lange, Cylinder mit einander verbunden, d. h. der obere einfach auf den unteren gestellt.

Ein 80 Cm langer Cylinder versagte den Dienst, da seine untere Fläche nicht mit Sicherheit in ruhigem Contact mit der Schiefertafel gehalten werden konnte.

Die S-werte, welche in annähernd allen Messungen eben noch hörbare Schallempfindungen vermitteln, sind in nachfolgender Tabelle verzeichnet. Sie stellen die Endmittel dar aus zahlreichen Einzelversuchen. Der Exponent ε der Fallhöhe (0,583) ist rund zu 0,59 angenommen.

Tabelle 55.

Versuche an Tannenholzcylindern.

	Länge der Cylinder in Cm	Fallhöhe in Mm	S_1
I.	10	4,4	10,8
II.	20	5,0	11,6
III.	40	5,9	12,9
IV.	60	6,9	14,1
(V. zwei Cylinder von je 10 Cm)		(5,9)	(12,9)

Genau constant in allen Versuchen (Rubrik V muss selbstverständlich ausgeschlossen werden) sind die Widerstände a beim Uebergang des Schalles in den Tannenholzcylinder und von da in das beobachtende Ohr (b). Da ferner in allen Versuchen der ursprüngliche Schall auf die Schwelle herabgedrückt wurde, so muss auch der von den Holzcylindern in das Ohr abgegebene Schall in allen Fällen dieselbe Stärke haben, also der Schall bei seiner Leitung vom äusseren Ohr bis zum Labyrinth um denselben Betrag c abgemindert werden. Wir haben also eine Constante, bestehend aus den Werten a + b + c, wozu noch der constante Rest d objektiver Schallbewegung zu rechnen ist, der im Labyrinth zur Her-

stellung der minimalen Nervenerregung verbraucht wird. Die Gesamtconstante C ist somit $= a + b + c + d$.

Nehmen wir die Länge der leitenden Medien (um auch dieses Verfahren einmal anzudeuten) als Abscisse, die entsprechenden S-werte als Ordinaten, so erhalten wir beim Verbinden der gefundenen Ordinatenhöhen eine ziemlich gerade ansteigende Linie. Die Ordinaten bestehen also aus C und einem der Länge der einzelnen Conductoren nahezu proportionalen Wert, aus dem die Schallhemmung für je 1 Cm Tannenholz sich unmittelbar ergiebt.

Wählt man statt der geometrischen Construction, die übrigens in vielen Fällen zur ersten Orientierung zu empfehlen ist, die Rechnung, so hat man in Tabelle 55 6 Combinationen, aus denen sich nach meiner zweiten Berechnungsweise ergiebt, dass 1 Cm eines Cylinders von Tannenholz von 3 Cm Dicke den Schall im Mittel um 0,0671 s (selbstverständlich ausgedrückt in Werten des Schieferphonometers) schwächt.

Die alsbald zu erörternde genauere Fechner'sche Methode führt übrigens zu keinem wesentlich abweichenden Wert, nämlich zu 0,0654. Für die Längseinheit (1 Cm) und die Querschnittseinheit (1 QCm) des Tannenholzes ist somit die Schallschwächung $= 0{,}00926$ s.

Die Versuche V der Tabelle 55 konnten nicht genau ausfallen, weil es unmöglich war, die zwei übereinandergestellten Tannenholzcylinder beim Auscultieren ganz stabil zu erhalten.

Die allmähliche Abschwächung des Schalles bei seinem Fortschreiten durch leitende Medien gehorcht somit bei schlecht, wie bei gut leitenden, Medien demselben Gesetz. Ein relativer Unterschied der Versuchsbedingungen besteht nur insofern, als in den, den Schall wenig schwächenden, Medien bei unserer Versuchsanordnung C (s. o.) verhältnismässig gross ist gegenüber den inneren Widerständen in dem zu prüfenden Leiter, während C bei den stark schallschwächenden Medien wenig in Betracht kommt.

Die Prüfung der inneren Schalleitungswiderstände des Tannenholzes wurde ausserdem mit denselben Cylindern, wie in Tab. 55 mittelst des vereinfachten Phonometers (§ 7) vorgenommen; die angegebenen Längen der Cylinder sind mindestens bis auf $^1/_{10}$ Mm exakt; die Durchmesser variieren aber meistens ein wenig im Verlauf der Cylinder, bei I und IV zwischen 2,96—3,00, bei V zwischen 2,95—3,00; bei II und III waren sie sehr constant 3,00 Cm. Auffallend ist die Disproportionalität zwischen Länge und Gewicht; letzteres betrug bei Cylinder I (10 Cm Länge) 35 G. — II (20 Cm)

61 G. — III (40 Cm) 141 — IV (60 Cm) 203 — V (80 Cm Länge) 249,5 G. Im Mittel entsprachen also einer Cylinderlänge von 10 Cm 33,84 G.

Auf dem einen der kurzen Cylinder des vereinfachten Phonometers stand der 10 Cm lange Tannenholzcylinder, während auf den andern der kurzen Phonometercylinder jeweils einer der 4 übrigen Tannenholzcylinder gestellt wurde. Auf beiden Tannenholzcylindern lag ein rundes Eichenholzplättchen, von 2,9 G Gewicht, 3 Cm Durchmesser und 0,5—0,6 Mm Dicke. Letzteres wurde durch die Fallkügelchen erschüttert; der im Eichenholz erregte Schall wurde also durch das Tannenholz in das Phonometer geleitet.

Jede einzelne der 11 Versuchsreihen der nachfolgenden Tabelle besteht aus 2 Abteilungen; die eine der letzteren betrifft den in sämtlichen Versuchsreihen benützten Cylinder von 10 Cm Länge, die andere irgend einen der längeren Cylinder. Es wurden je 6 bis 10 Bestimmungen an einem und sodann ebensoviele an dem andern Cylinder gemacht. Diese Wechsel wurden 3—5mal wiederholt, so dass durchschnittlich etwa 60—70 Einzelbestimmungen auf jede der 11 Versuchsreihen der Tabelle 56 kommen. Durch diese häufigen Wechsel wurde der schädliche Einfluss etwaiger Schwankungen der individuellen akustischen Dynamie möglichst beseitigt.

Die in der Tabelle gegebene Berechnung der Schwächung des Schalles durch 1 Cm Länge unserer Tannenholzcylinder geschah einfach nach der Formel: $\left(\frac{S_2 - S_1}{\text{Differenz der Cylinderlängen}}\right)$.

Tabelle 56.

	Erste Abteilung				Zweite Abteilung				Schwächung des Schalles durch 1 Cm des Cylinders
	Länge des Cylinders in Cm	Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Fallhöhe in Mm	S_1	Länge des Cylinders in Cm	Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Fallhöhe in Mm	S_2	
Erster Tag	10	3,25	4	7,38	60	3,25	7	10,24	0,057
	10	3,1	4	6,97	80	3,1	10	12,05	0,072
Zweiter Tag	10	2,2	4	4,95	20	2,2	5	5,68	0,074
	10	2,2	4	4,95	20	2,2	5	5,68	0,074
	10	2,2	6	6,33	60	3,5	7	11,03	0,094
	10	2,2	6	6,33	60	3,5	7	11,03	0,094
Dritter Tag	10	2,2	4,5	5,31	60	3,5	6	10,07	0,095
Vierter Tag	10	2,2	5	5,68	40	3,1	6	8,92	0,107
	10	2,2	6	6,33	40	3,1	7	9,77	0,114
	10	2,2	4,5	5,31	40	3,1	5	8,01	0,090
	10	2,2	4,5	5,31	40	3,1	5	8,01	0,090

Demnach schwächt (am vereinfachten Phonometer) 1 Cm eines Tannenholzcylinders (von 3 Cm Durchmesser) den Schall um 0,0874 s im Endmittel. Für Schieferphonometer dagegen unter auch sonst abweichenden Versuchsbedingungen erhielt ich als Schallschwächung für 1 Cm des Tannenholzes 0,067 s (resp. richtiger 0,0654).

Ich brauche kaum zu bemerken, dass die beiderseitigen Versuche keine direkte Vergleichung zulassen; beide aber bestätigen das Leitungsgesetz: dass der Schall bei seinem Fortschreiten in sonst gleichartigen Medien von unverändertem Querschnitt durch die Längeneinheit des Mediums jeweils um denselben absoluten Betrag geschwächt wird.

Tabelle 56 giebt in der S_1-Columne Aufschluss über die Veränderungen der Hörschärfe im Verlauf des vierten Versuchstages. Die S_1-Zahlen sind keine Dynamiewerte (d. h. solche, die durch Erschütterung des Phonometers durch das Fallkügelchen erhalten wurden); sie wurden erhalten bei Einschaltung eines schallschwächenden Mediums von constanter Beschaffenheit (10 Cm Länge). Aus letzterem Grund steigen und fallen sie mit der individuellen akustischen Dynamie; ihre Variationen sind also (abgesehen von dem vorübergehenden Einfluss von Versuchsfehlern) Ausdrücke des Wechsels der Hörschärfe, und werden das viel mehr sein, wenn die Zahl der Einzelversuche eine erheblich grössere sein wird, als in meinen Versuchsreihen. Dass einzelne S_2-Werte (an dem 20 Cm langen Holzcylinder) geringer ausgefallen sind, als mehrere S_1-Werte (an dem 10 Cm langen Cylinder), kann bei unserer delikaten Aufgabe nicht auffallen. Die 22 S_1- resp. S_2-Bestimmungen beruhen, wie erwähnt, jeweils auf etwa 30 Einzelbeobachtungen. Auch in diesem Fall mögen die Einzelbeobachtungen wenigstens in den 4 Versuchsreihen des vierten Versuchstages zur Erläuterung der Art und Weise, wie die S_1- und S_2-Werte der Tabelle gefunden wurden, speciell aufgeführt werden.

Die Versuche sind genau in ihrer zeitlichen Reihenfolge angeordnet; in jeder der 4 Versuchsreihen wurde zuerst an dem 10 Cm langen, sodann an dem 40 Cm langen Cylinder experimentiert. Die Zeitfolge der Versuche ist in jeder Reihe mit den Buchstaben a resp. a^1, b — b^1 u. s. w. angegeben. Die Zahlen bedeuten die absoluten Zahlen der Einzelversuche; die + Zeichen drücken positive Schwellen- oder auch etwas über der Schwelle liegende Empfindungen aus, die — Zeichen besagen, dass keine

Empfindung stattfand. Die 13 Vexierversuche, mit 12 richtigen Urteilen, sind in der Tabelle weggelassen.

Tabelle 57.

Die Einzelversuche des vierten Versuchstages der Tabelle 56.

Tannenholzcylinder von 10 Cm Länge				Tannenholzcylinder von 40 Cm Länge				Berechnete Schallschwächung für 1 Cm des Cylinders
Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	Zahl der Fälle	S_1	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	Zahl der Fälle	S_2	
2,2	a) 5 b) 4 c) 5	+ 2 − 2 + 2 − 1	zur positiven Empfindung nötige Fallhöhe 5. $S_1 = 5{,}69$	3,1	a^1) 11 b^1) 8 c^1) 6	+ 2 + 3 + 3 − 1	Also Fallhöhe 6. $S_2 = 8{,}92$	0,107
2,2	a) 5 b) 7 c) 6 d) 4 e) 3	− 2 + 2 + 2 + 1 − 1 − 1	Fallhöhe 6. $S_1 = 6{,}33$	3,1	a^1) 6 b^1) 5 c^1) 6 d^1) 7 e^1) 8	+ 1 − 1 + 2 + 2 − 1 + 2	Fallhöhe 7. $S_2 = 9{,}77$	0,114
Pause von 3/4 Stunde.								
2,2	a) 3 b) 4 c) 5 d) 4,5	− 2 − 2 + 2 + 2	Fallhöhe 4,5. $S_1 = 5{,}31$	3,1	a^1) 8 b^1) 6 c^1) 5 d^1) 4,5	+ 1 + 3 + 2 + 1 − 2	Fallhöhe 5. $S_2 = 8{,}01$	0,090
2,2	a) 4,5 b) 4 c) 4	+ 2 − 2 − 2	Fallhöhe 4,5. $S_1 = 5{,}31$	3,1	a^1) 6 b^1) 5 c^1) 4	+ 2 + 2 − 1 + 2 − 1	Fallhöhe 5. $S_2 = 8{,}01$	0,090

Teile ich die S_1-Werte der Tabelle in zwei Gruppen, so geben die 6 höheren Zahlen für $S_1 = 6{,}503$ im Mittel, die 5 niederen aber 5,166. Die entsprechenden Schallschwächungen durch 1 Cm des Cylinders sind im ersten Fall 0,0897, im zweiten 0,0846 im Mittel, ein Unterschied, der gar nicht in Betracht kommen kann. Ich glaube die Vermutung aussprechen zu dürfen, dass die beobachteten Schallschwächungen von dem Grad der individuellen Feinhörigkeit der Beobachter (d. h. den Werten ihrer akustischen Dynamie) vollständig unabhängig sind.

Berechnen wir auch hier wieder die Resultate der Versuche der Tabelle 57 nach dem Fechner'schen Verfahren, um zu entscheiden, ob das Princip der absoluten oder der relativen

Schwächung des Schalles bei dessen Fortpflanzung durch Medien gleichen Querschnitts das Richtige ist. Wegen der Bedeutung der nachfolgenden Tabellenüberschriften wird auf § 31 verwiesen.

Tabelle 58.

l (Länge der Tannenholzcylinder)	S_1 u. s. w.	log S
a 10 cm	10,8	1,03342
b 20 cm	11,6	1,06446
c 40 cm	12,9	1,11059
d 60 cm	14,1	1,14922

Tabelle 59.

Bestimmung von $X_{a\alpha}$ und $X_{a\beta}$.

Combin.	$l_p - l_q$	$S_p - S_q$	$(l_p - l_q)(S_p - S_q)$	$(l_p - l_q)^2$	$(S_p - S_q)^2$
b — a	10	0,8	8,0	100	0,64
c — a	30	2,1	63,0	900	4,41
d — a	50	3,3	165,0	2500	10,89
c — b	20	1,3	26,0	400	1,69
d — b	40	2,5	100,0	1600	6,25
d — c	20	1,2	24,0	400	1,44
	170	11,2	386,0 = A	5900 = B	25,32 = C

$$x_{a\alpha} = \frac{A}{B} = 0{,}065424$$

$$x_{a\beta} = \frac{C}{A} = 0{,}065595.$$

(Nach meinem zweiten Verfahren erhielt ich, wie erwähnt, 0,067.)

Tabelle 60.

Bestimmung von $X_{r\alpha}$ und $X_{r\beta}$.

Combin.	$l_p - l_q$	$(\log S_p - \log S_q)$	$\frac{(l_p - l_q)}{(\log S_p - \log S_q)}$	$(l_p - l_q)^2$	$(\log S_p - \log S_q)^2$
b — a	10	0,03104	0,3104	100	0,0009929
c — a	30	0,07717	2,3151	900	0,0059553
d — a	50	0,11580	5,7900	2500	0,0134100
c — b	20	0,04613	0,9226	400	0,0212790
d — b	40	0,08476	3,3904	1600	0,0718420
d — c	20	0,03863	0,7726	400	0,0240150
		0,39353	13,5011 = A_1	5900 = B	0,031163 = C_1

$$x_{r\alpha} = \frac{A_1}{B} = 0{,}0022883$$

$$x_{r\beta} = \frac{C_1}{A_1} = 0{,}0023082.$$

Tabelle 61.

Vergleichung der nach den verschiedenen Methoden berechneten $l'_p - l_q$ mit den gegebenen $l_p - l_q$.

	beobachtet $l_p - l_q$	berechnet $l_p - l_q$				δ			
		aα	aβ	rα	rβ	aα	aβ	rα	rβ
b — a	10	12,23	12,20	13,56	13,45	2,23	2,20	3,56	3,45
c — a	30	32,10	32,01	33,72	33,43	2,10	2,01	3,72	3,43
d — a	50	50,44	50,31	50,61	50,17	0,44	0,31	0,61	0,17
c — b	20	19,87	19,82	20,16	19,98	0,13	0,18	0,16	0,02
d — b	40	38,21	38,11	37,04	36,72	1,79	1,89	2,96	3,28
d — c	20	18,34	18,29	16,88	16,73	1,66	1,71	3,12	3,27
						$\Sigma\delta$ 8,35	8,10	14,13	15,95

δ^2			
aα	aβ	rα	rβ
4,973	4,840	12,674	11,903
4,410	4,040	13,838	11,765
0,194	0,096	0,372	0,029
0 017	0,032	0,026	0,000
3,204	3,572	8,762	10,758
2,756	2,924	9,734	10,693
$\Sigma\delta^2 =$ 15,554	15,504	45,406	45,148

Demnach sind die Summen der Fehlerquadrate sehr viel grösser, wenn man nach x_r rechnet statt nach x_a. Das Princip der absoluten Schwächung des Schalles wird also auch durch die Versuche am Tannenholz vollständig sanktioniert.

---

§ 42. Schalleitungsfähigkeit verschiedener Holzarten.

Die Bestimmung der Schalleitungsfähigkeit verschiedener Holzarten hat, ganz abgesehen von anderen Zwecken, für uns einen speciellen Wert. Für die Herstellung von Stethoskopen wird diejenige Holzart die zweckmässigste sein, welche den Schall bei der Fortleitung am wenigsten schwächt, vorausgesetzt, dass die ver-

schiedenen Holzarten in diesem Betreff grosse Unterschiede bieten. Die nachfolgende Tabelle zeigt freilich, dass letzteres nicht der Fall ist, oder richtiger, dass alle übrigen noch in Betracht kommenden schallschwächenden Momente bei unsern Versuchen viel grösser sind, als die Schallschwächung in den Hölzern von den angewandten Dimensionen.

Die Schalle wurden am Schieferphonometer erregt, während das eine Ende der zu prüfenden Holzcylinder auf die Tafel und das auscultierende Ohr an das obere Ende des Holzstabes gedrückt wurde. Von den sämtlichen lufttrockenen Holzarten standen runde, massive, in der Richtung der Fasern gedrehte Cylinder von 20 Cm Länge und 3 Cm Durchmesser zu Gebot. Da das Anlegen des Ohrs auf den geringen Querschnitt der Holzcylinder mit Unbequemlichkeiten verbunden ist, so wurde auf das obere Ende des Cylinders jedesmal eine runde Scheibe von Tannenholz von 4 Cm Durchmesser und 4 Mm Dicke aufgelegt; der Schall ging somit von der Schiefertafel in das zu prüfende Holz und durch die dünne Tannenholzscheibe in das Ohr.

In einer Versuchsreihe mit 112 Versuchen (worunter 22 Vexierversuche) wurden mittelst eines 3,7 Mg schweren Bleikügelchens die Fallräume annähernd bestimmt (sie betrugen 8—3 Mm), bei welchen nach dem Durchgang des Phonometerschalles durch die Holzcylinder fast immer noch merkliche Hörempfindungen eintraten. Auf Grund dieser Erfahrungen wurden für sämtliche Versuche der nachfolgenden Tabelle ein Bleikügelchen von 2,4 Mg und sehr kleine Fallräume (4 und 3 Mm) benützt. Die Zahl der Fallversuche (die sich auf 2 Tage verteilten) war 240, so dass also auf eine Holzart durchschnittlich 27 Bestimmungen kommen; in 26 Fällen konnte kein sicheres Urteil abgegeben werden. Ausserdem wurden 58 Vexierversuche eingeschaltet; in einem dieser Fälle war das Urteil zweifelhaft, in einem andern Falle wurde (was sonst ausserordentlich selten vorkommt) fälschlich eine Empfindung angegeben; in den 56 übrigen Fällen wurde den gegebenen objektiven Bedingungen gemäss nichts gehört.

Da ich, wie erwähnt, immer nur mit zwei constanten Fallräumen (4 und 3 Mm) und mit demselben Gewicht (2,4 Mg) experimentierte, so dass die Fallräume nicht so gross gemacht wurden, als nötig gewesen wäre, um das s, bei welchem in nahezu sämtlichen Fällen eine eben noch merkliche Empfindung erhalten wird, direkt zu bestimmen, so wurde das Verhältnis der richtigen (r) zu allen (n) Entscheidungen zu Grunde gelegt, und aus dem

gefundenen s das vorige s berechnet, bei welchem $\frac{r}{n} = 1$ wird. Dazu diente mir die Curve, welche ich aus den ein Decennium hindurch fortgesetzten umfassenden Versuchen einer Anzahl von Studierenden abgeleitet hatte über das Wachstum der richtigen Empfindungen mit zunehmender Stärke des Sinnesreizes (s. meinen Grundriss d. Physiologie, 5te Auflage, S. 316) [1]). Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen S-Werte sind somit nicht direkt gefunden, sondern aus dem Versuchsmaterial berechnet. Diese Versuche sind die einzigen nach dem obigen unzweckmässigen Verfahren angestellte; alle übrigen Versuchsreihen dieser Schrift beruhen auf direkt gefundenen Werten.

Tabelle 62.

Schalleitungsfähigkeit der Holzarten.

Holzart.	S	Holzart.	S
Linde	6,69	Eiche	7,49
Rotbuche	6,90	Zwetschgenbaum	5,57
Rottanne	6,76	Ahorn	7,68
Mehlbeerbaum		Weissbuche	8,30
(Sorbus Aria)	7,04	Buchsbaumholz (poliert)	11,55

Der Buchsbaumcylinder war poliert, also mit den übrigen Hölzern nicht völlig vergleichbar. Der an der Grenze der Hörbarkeit befindliche Schall zeigte bei den verschiedenen Hölzern gewisse, im Einzelnen kaum zu beschreibende, Qualitätsunterschiede, die sich auf den Grad der Dumpfheit, des An- und Abschwellens und die akustische Höhe der Geräusche bezogen.

Die S-Werte der Tabelle 62 beziehen sich selbstverständlich auf sämtliche bei unsern Versuchen überhaupt in Frage kommenden Leitungswiderstände, also der Reihe nach die Widerstände in der Phonometertafel — beim Uebergang aus dieser in die Holzcylinder — den Widerstand im Cylinder — den Uebergangswiderstand in das Ohr — die Fortleitung im Ohr bis zum Labyrinth, so dass schliesslich ein unbekannter Rest von Kraft übrig bleiben muss, der eben hinreicht, den Acusticus in die zur Schwellenempfindung erforderliche Erregung zu versetzen. § 41 wurde nachgewiesen, dass ein Cylinder von Tannenholz, von demselben Durchmesser wie den vorstehenden Versuchen, in einer Strecke von 1 Cm Länge den (Schiefertafel-) Schall um 0,067 s hemmt. Das

1) Diesen Anlass benütze ich, um zwei Zahlenfehler dieser Curve zu berichtigen, in Curve A ist zu setzen 467 statt 476 und 524 statt 554.

macht für 20 Cm Cylinderlänge 1,34 s. Also wären die übrigen Widerstände 6,76 — 1,34 = 5,42 s. Für das bestleitende Lindenholz hätten wir 6,69 — 5,42 = 1,27 s; für die relativ schwer leitende Weissbuche 8,30 — 5,42 = 2,88 s. Für das, wie erwähnt, nicht direkt mit den übrigen Leitern zu vergleichende Buchsbaumholz 6,13 s. Diese Unterschiede der Leitungsfähigkeit sind an sich somit nicht so unbedeutend, gleichwohl kommen sie aber in der praktischen Stethoskopie wenig in Frage, weil die übrigen Widerstandsursachen viel grösser sind. Anders würde es sich aber verhalten, wenn an sehr langen (10 M und noch mehr) Holzcylindern experimentiert würde. Auf umfassende experimentelle Untersuchungen der Art musste ich aber vorläufig verzichten. Zur strengen Prüfung der Frage müsste von jeder Holzart, wie ich beim Tannenholz (§ 41) verfuhr, jeweils an mehreren Cylindern von verschiedener Länge experimentiert werden, eine weitführende Aufgabe, auf die ich mich nicht einlassen konnte.

Den Einfluss des Wassergehaltes des Holzes auf die Schallleitung habe ich an zwei Eichenholzconductoren geprüft. Die zwei Conductoren, die dieselbe Schallschwächung ergaben, wurden längere Zeit in Wasser gelegt. In zwei Bestimmungen, die am 4ten und 23ten Tag der Wasserimbibition gemacht wurden, konnte keine Veränderung in der Schalleitungsfähigkeit des Holzes nachgewiesen werden. Diese Erfahrungen beweisen, dass die hölzernen Conductoren keine wesentliche Veränderungen ihres Schallleitungsvermögens im Laufe der Zeit erfahren.

---

§ 43. Schalleitung durch Holz in der Längs- und Querrichtung der Fasern.

Göppert sowie Knoblauch (Annal. d. Physik 1858, Band 105, S. 603) haben nachgewiesen, dass das Holz die Wärme in der mit den Fasern parallelen Richtung besser leitet, als in der dazu rechtwinkligen Richtung. Knoblauch hat ausserdem auch die Leitung von Schallen nach beiden Richtungen der sogenannten Lang- und Hirnleiste geprüft, wobei es sich aber nicht um Intensitätsmessungen, sondern um die Vollkommenheit (Reinheit) des Klanges handelte. Er fand unter Anderem, dass die Langleiste einen klangreicheren, die Hirnleiste einen dumpferen Ton giebt.

In einer auf 4 Tage verteilten Versuchsreihe wurde diese Frage am Phonometer untersucht. Die allerdings bloss 295 Einzelversuche können die vorliegende Frage nur annähernd beantworten. Die Schalle wurden wiederum durch Aufschlagen der Fallkügelchen auf die Schieferplatte erregt und durch Conductoren von Eichenholz, von denen der eine in der Querrichtung, der andere in der Längsrichtung des Holzes gefertigt war, in das Ohr geleitet. Der Conductor zur Prüfung der Längsleitung hatte ein specifisches Gewicht von 0,722, der in der Querrichtung des Holzes angefertigte ein solches von 8,803.

In den Versuchen der nachfolgenden zwei Tabellen war das Fallgewicht des Bleikügelchens immer 3,7 Mg. Die Zahlen der Tabelle bedeuten die Anzahl der Einzelversuche (im Ganzen 143).

Tabelle 63.

Schalleitung in der Längsrichtung des Eichenholzes.

Fallraum in Mm	s in MgMm	Fallversuche			Vexierversuche	
		Richtig	Falsch	Zweifelhaft	Richtig	Zweifelhaft
5	9,56	10	—	—	—	—
4	8,40	11	—	1	2	—
3	7,07	6	1	2	2	1
2,8	6,81	2	—	—	1	—
2,6	6,51	2	3	—	1	—
2,4	6,22	—	2	1	—	—
2,0	5,55	4	5	1	—	—
1,8	5,22	—	2	—	—	—

Tabelle 64.

Schalleitung in der Querrichtung des Holzes.

Fallraum in Mm	s in MgMm	Fallversuche			Richtige Vexierversuche
		Richtig	Falsch	Zweifelhaft	
5	9,56	5	—	—	1
4	8,40	11	—	—	4
3	7,07	6	—	—	3
2,8	6,81	2	—	—	1
2,6	6,51	6	—	—	—
2,4	6,22	4	—	—	2
2,2	5,88	6	—	1	2
2,0	5,55	14	1	—	2
1,8	5,22	5	—	—	1
1,6	4,88	1	4	—	1

Demnach ist die Leitung in der Querrichtung entschieden bevorzugt; auch hat der Schall unter diesen Umständen einen schär-

feren Timbre, indem die Empfindung schneller ansteigt und schneller aufhört. Die Schallstärke, die bei ihrer Fortleitung immer noch richtig empfunden wird, liegt bei der Längsleitung etwa bei 8,4 s, bei der Querleitung etwa bei 5,88 s.

Da die beiden Conductoren in den voranstehenden Versuchen eine sehr ungleiche Eigenschwere hatten, so wurden aus derselben, vom Kern ziemlich entfernten, Stelle eines grösseren Eichenklotzes Conductoren in der Längs- und Querrichtung der Fasern angefertigt. Die wiederum 20 Cm langen Conductoren wurden aus zwei, je 10 Cm langen, Stücken zusammengesetzt, so dass ein Zapfen des einen Stückes in ein entsprechendes Loch des andern eingeschoben und beide Stücke sodann zusammengeleimt wurden. Der Conductor zur Prüfung der Längsleitung hatte ein specifisches Gewicht von 0,627, der in der Querrichtung der Fasern angefertigte ein solches von 0,614.

Tabelle 65.

Schalleitung in der Längsrichtung des Eichenholzes.

Fall-gewicht in Mg	Fallraum in Mm	s in MgMm	Fallversuche			Vexierversuche richtig
			Richtig	Falsch	Zweifelhaft	
3,7	3	7,07	2	—	—	1
»	2,6	6,51	5	—	—	1
»	2,2	5,88	5	1	—	—
»	2,0	5,55	5	1	—	3
»	1,8	5,22	4	1	2	2
»	1,6	4,88	3	1	2	3
»	1,4	4,51	4	—	1	1
»	1,0	3,70	2	2	1	1
1,6	3	3,06	8	4	—	3
»	2	2,40	1	3	1	1
»	1,8	2,26	—	2	—	—

Tabelle 66.

Schalleitung in der Querrichtung des Eichenholzes.

3,7	2,2	5,88	7	—	—	2
»	2,0	5,55	7	1	—	4
»	1,8	5,22	8	—	—	1
»	1,6	4,88	6	—	—	3
»	1,4	4,51	4	—	—	2
»	1,0	3,70	5	—	—	1
1,6	3	3,06	10	1	1	3
»	2	2,40	4	—	1	1
»	1,8	2,26	1	2	—	—

Die geringsten Schallstärken, welche bei ihrer Fortleitung zum Ohr eine (in allen Fällen) eben noch merkliche Empfindung geben, betragen bei der Leitung in der Längs- und Querrichtung ungefähr 5,9 und 3,7 s (in MgMm ausgedrückt). Die geringere Schallschwächung in der Querrichtung ist somit ausser Zweifel.

---

§ 44. Fortpflanzung des Schalles in einer grossen Holzmasse.

Ein Cylinder von Eichenholz von 71 Cm Länge und 28,1 Cm Durchmesser, der, um einige kleine Sprünge zu entfernen, vorher mehrere Tage in Wasser gelegt wurde, wog im imbibierten Zustand 41 Kg (spec. Gew. 0,930). Die Längsrichtung des Cylinders entsprach der Längsrichtung der Holzfaser. Zu Schalleitungsversuchen an sehr grossen Körpern möchte ich übrigens gleichartigere Medien, z. B. Cylinder von Sandstein, empfehlen. Ich glaube immerhin, dass die an dem vorliegenden Objekt gemachten Versuche der Mitteilung nicht unwert sind. Ich selbst bin nicht im Stande, sie vollständig erklären zu können.

A. Schallerregung am Cylinderquerschnitt.

a) Fortleitung der Schwingungen zum Cylindermantel.

Der Cylinder wurde mit zwei einander gegenüberliegenden Stellen seines unteren Querschnitts so auf zwei Tische aufgestellt, dass der grösste Teil dieses Querschnittes frei blieb. Zwischen die Tische und den Cylinder wurden einige Lagen wollenes Tuch eingeschoben. Die Aufschlagstelle der Fallkugel war die Mitte (m) des oberen Querschnittes des Cylinders. Ein eigentümlich construierter, (auf m) senkrecht gestellter Conductor von Buchenholz, der an seinem unteren Ende eine seitliche Aushöhlung hatte und nur mit einem ringförmig gestalteten Ende mit dem Eichencylinder in Berührung kam (Fig. 4, F pag. 32), gestattete die Einführung der Fallpincette in den Hohlraum des Conductors. Der durch das Auffallen des Kügelchens entstehende Schall konnte also in den Conductor und das Ohr mit möglichst geringer Schwächung übergehen, indem der Aufschlagspunkt des Schallkügelchens 1 Cm Abstand hatte von dem ringförmigen unteren Conductorende. Ein durch 3,47 Mm fallendes Bleikügelchen (von 36 Mg Ge-

wicht) gab einen an der Grenze der Hörbarkeit stehenden Schall $S_1 = 68{,}83$. Die sichere Bestimmung des Exponenten ε bot aber Schwierigkeiten, ich führe ihn mit 0,55 in Rechnung. Sodann wurde der oben erwähnte Buchsbaumconductor der Reihe nach auf verschiedene, in der senkrechten Linie (0—70) des Cylindermantels liegenden Stellen aufgesetzt und die betreffenden S_2, S_3 u. s. w. Werte bestimmt. Der zur Cylinderachse senkrecht stehende Conductor brachte Schwingungen zum Ohr, welche zur Längsachse des Conductors je nach den Ansatzstellen des letzteren die verschiedensten Richtungen hatten. Zu den Versuchen der nachfolgenden Tabelle wurde ein Fallkügelchen aus Blei von 36,5 — 56 und 74 Mg verwendet.

Beim Aufschlagen der Fallkugel auf das Centrum m des oberen Querschnittes des Cylinders musste S_1, wie oben erwähnt, den Wert 68,83 haben, um dem in nächster Nähe von m aufgesetzten Conductor einen eben noch merklichen Schall zuzuführen. Beim Ansetzen des Conductors an die in der Tabelle verzeichneten Stellen des Cylindermantels musste die auf m fallende Kugel mit viel stärkeren Stössen wirken, die mit zunehmender Entfernung von m, wie es sich bei Berechnung der Resultate herausstellte, regelmässig zunehmen; deshalb ist in der Tabelle der lineare Abstand des Aufschlagpunktes (m) der Fallkugel von der Ansatzstelle des Conductors am Cylindermantel angegeben.

Tabelle 67.

	Ansatzstelle des Conductors am Cylindermantel	Gradliniger Abstand (in Cm) der Ansatzstelle des Conductors und der Aufschlagstelle (m) der Bleikugel $l_p - l_q$	$S_2 \ldots S_3 \ldots S_9$	Absolute Schwächung des Schalls in s (MgMm) $S_1 \ldots$ minus 69	Schallschwächung in s für 1 Cm Abstand
Abstand der Ansatzstelle vom oberen Rand (o) des Cylinders	ObererRand(o) des Cylinders	14,1	191	122	8,6
	10	17,2	235	166	9,7
	20	24,4	253	184	7,6
	30	33	407	338	10,2
	40	42,4	453	384	9,0
	50	51,8	526	457	8,8
	60	61,6	549	480	7,9
	70	71,4	560	491	6,9
					Mittel: 8,6

Die Vergleichbarkeit dieser Versuche wird allerdings dadurch etwas erschwert, dass bei den geringeren Abständen (14,1— 17,2 Cm) der Schall sich in einer zur Längsrichtung der Faser senkrechteren

Richtung gegen den Cylindermantel ausbreitete, während bei den grösseren Abständen die Winkel zunehmend kleiner werden.

Gehen wir auch hier wieder an die genauere Berechnung der Versuchszahlen, nach der § 31 geschilderten Methode, so ergeben sich 28 Combinationen von $l_p - l_q$ und den zugehörigen Schallstärkewerten. Auch hier sei wiederum vergleichend die Frage geprüft, ob der Schall bei seiner Fortpflanzung in der Längen- resp. Gewichtseinheit immer um denselben absoluten Betrag, oder je um einen der noch vorhandenen Schallstärke proportionalen Betrag abgemindert werde, indem die Rechnung sowohl nach X_a, als nach X_r, unternommen wird.

Die Berechnung ist, bei den gegebenen 28 Combinationen, selbstverständlich sehr zeitraubend. Um Raum zu sparen, lasse ich die den einzelnen $l_p - l_q$ entsprechenden $S_p - S_q$, ausserdem die $(l_p - l_q)(S_p - S_q)$, sowie die $(l_p - l_q)(\log S_p - \log S_q)$ weg, sowie auch die $(l_p - l_q)^2$ und beschränke mich auf die Endsummen.

Danach ist:

$\Sigma[(l_p - l_q)(S_p - S_q)] = A$	$\Sigma[(l_p - l_q)(\log S_p - \log S_q)] = A$	$\Sigma(l_p - l_q)^2 = B$
für X_a ist $A = 170918{,}2$	für X_r ist $A = 205{,}63639$	B ist $= 24555{,}17$
Also ist $\frac{A}{B} \frac{170918{,}2}{24555{,}17} = 6{,}9608$ für X_a.	$\frac{A}{B} \frac{205{,}63639}{24555{,}17} = 0{,}00837436$ für X_r.	

Der in Tabelle 67 gefundene Wert für X_a ist 8,6, also gegenüber 6,9608 erheblich mehr; diese Zahl, nach bloss approximativem Verfahren berechnet, ist auch von der Bestimmung der akustischen Dynamie (68,83 S_1) abhängig und schon deshalb minder genau.

(Tabelle 68 s. Seite 190.)

Vergleichen wir die gegebenen $l_p - l_q$-Werte (s. zweite Vertikalreihe der Tabelle 68) mit den nach den Formeln $l_p - l_q = \frac{S_p - S_q}{X_a}$ und $l_p - l_q = \frac{\log S_p - \log S_q}{X_r}$ berechneten $l_p - l_q$-Werten, wobei für X_a rund $= 7$ und für $X_r = 0{,}00837$ gesetzt wird, so zeigen in der dritten und vierten Vertikalreihe die nach X_a berechneten Zahlen eine viel geringere Abweichung von den gegebenen $l_p - l_q$, als die nach X_r berechneten. Die nach X_r berechneten Werte sind bloss 5 mal, die nach X_a aber 23 mal im Vorteil. Die zwei Kolumnen δ enthalten die bezüglichen Abweichungen (Fehler) und die zwei Kolumnen δ^2 die Fehlerquadrate. Die Summe der Fehlerquadrate nach X_r ist nun fast noch einmal so gross, als bei X_a.

Tabelle 68.

Combinationen	$l_p - l_q$			δ		δ^2	
	gegeben	berechnet nach X_a	berechnet nach X_r	Abweichung der berechneten $l_p - l_q$ von den gegebenen nach X_a	nach X_r	nach X_a	nach X_r
14,1 : 17,2	3,1	6,3	10,8	3,2	7,7	10,24	59,29
14,1 : 24,4	10,3	8,9	14,6	1,4	4,3	1,96	18,49
14,1 : 33,0	18,9	30,8	39,8	11,9	20,9	141,61	436,81
14,1 : 42,4	28,3	37,4	44,8	9,1	16,5	82,81	272,25
14,1 : 51,8	37,7	47,9	52,6	10,2	14,9	104,04	222,01
14,1 : 61,6	47,5	51,1	54,8	3,6	7,3	12,96	53,29
14,1 : 71,4	57,3	52,7	55,8	4,6	1,5	21,16	2,25
17,2 : 24,4	7,2	2,6	3,7	4,6	3,5	21,16	12,25
17,2 : 33,0	15,8	24,6	28,5	8,8	12,7	77,44	161,29
17,2 : 42,4	25,2	31,1	34,0	5,9	8,8	34,81	77,44
17,2 : 51,8	34,6	41,6	41,8	7,0	7,2	49,00	51,84
17,2 : 61,6	44,4	44,9	44,0	0,5	0,4	0,25	0,16
17,2 : 71,4	54,2	46,4	45,0	7,8	9,2	60,84	84,64
24,4 : 33,0	8,6	22,0	24,6	13,4	16,0	179,56	256,00
24,4 : 42,4	18,0	28,6	30,2	10,6	12,2	112,36	148,84
24,4 : 51,8	27,4	39,0	38,0	11,6	10,6	134,56	112,36
24,4 : 61,6	37,2	42,3	40,2	5,1	3,0	26,01	9,00
24,4 : 71,4	47,0	43,9	41,2	3,1	5,8	9,61	33,64
33,0 : 42,4	9,4	6,6	5,5	2,8	3,5	7,64	12,25
33,0 : 51,8	18,8	17,0	13,3	1,8	5,5	3,24	30,25
33,0 : 61,6	28,6	20,3	15,5	8,3	13,1	68,89	171,61
33,0 : 71,4	38,4	21,9	16,6	16,5	21,8	272,25	475,24
42,4 : 51,8	9,4	10,4	7,8	1,0	1,6	1,00	2,56
42,4 : 61,6	19,4	13,7	9,9	5,7	9,5	32,49	90,25
42,4 : 71,4	29,0	15,3	11,0	13,7	18,0	187,6	24,00
51,8 : 61,6	9,8	3,3	2,2	6,5	7,6	42,25	57,67
51,8 : 71,4	19,6	4,9	3,2	14,7	16,4	216,09	268,96
61,6 : 71,4	9,8	1,6	1,0	8,2	8,8	67,24	77,44
					Summen:	1979,16	3522,17

b) Fortpflanzung der Longitudinalschwingungen im oberen Querschnitt des Cylinders.

Aufschlagstelle der Fallkugel war wieder die Mitte (m) des oberen Cylinderquerschnittes; beim Aufsetzen des Conductors auf verschiedene Stellen dieses Querschnittes wurden die betreffenden Werte von S_1 bestimmt. Die Schwingungen gingen also in einer zur Fortpflanzungsrichtung des Schalls auf dem oberen Cylinderquerschnitt senkrechten Richtung in den Conductor über. Beim Aufsetzen des Conductors auf die Mitte des Cylinderquerschnitts hatte in den auf 2 Tage verteilten Versuchen dieser Reihe der eben noch merkliche Schall in der unmittelbaren Nähe von m eine Intensität von 66,80 (statt 68,83 in der vorigen Tabelle).

Tabelle 69.

Abstand des Conductors von der Aufschlagstelle	S_1 bis S_4	Absolute Schwächung	Schallschwächung für 1 Cm Abstand von m
3	84,80	18,00	6,00
6	96,25	29,45	4,91
9	121,27	54,47	6,05
12	130,30	63,80	5,32
			Mittel: 5,57

c) Fortpflanzung der Schwingungen vom oberen zum unteren Querschnitt des Cylinders.

Der § 6 beschriebene, gekrümmte Conductor wurde gegen verschiedene Stellen des unteren Cylinderschnittes angedrückt, während wiederum der Mittelpunkt m des oberen Querschnitts durch das Fallkügelchen erschüttert wurde. Die Schwingungen des Cylinders gingen also in einer der Schallfortpflanzung im Cylinder parallelen Richtung durch den Conductor in das Ohr.

Tabelle 70.

	Ansatzstelle des Conductors	S_1 bis S_5
Abstand von der Mitte des unteren Cylinderquerschnitts	Mitte m_1 des unteren Cylinderquerschnitts.	548
	3 Cm	542
	6 Cm	596
	9 Cm	560
	12 Cm	564
		Mittel: 562

Die Abstände der 5 Ansatzstellen des Conductors am unteren Cylinderquerschnitt von der Aufschlagstelle des Fallkügelchens in der Mitte des oberen Querschnitts bieten (mit 71 — 71,1 — 71,3 — 71,6 und 72,0 Cm) so geringe Unterschiede, dass ihre Wirkung erst mittelst sehr zahlreicher Versuche erkannt werden könnte. Auch zeigen die dem Conductor übermittelten Schwingungen in den obigen 5 Versuchsreihen nur geringe Unterschiede der Schwingungsrichtung. Meine wenigen Versuche geben deshalb keine erkennenswerte Zunahme der Schallschwächung in der Richtung von der Mitte des unteren Cylinderquerschnittes gegen den Rand desselben. Ich brauche kaum zu bemerken, dass die Vergleichbarkeit dieser Versuche mit denen von a und b wegen der Verschiedenheit der angewandten Conductoren etwas beeinträchtigt wird; doch kann dieser Unterschied nicht gross sein. Die Schwächung für 1 Cm Weg würde in den c-Versuchen ungefähr 562 minus 67 (Dynamie), dividiert durch den Weg (71), also rund 7 s betragen.

B. Schallerregung auf dem Cylindermantel.

Der Cylinder wurde zwischen zwei Tische wagrecht gelegt und an den wenigen Berührungspunkten mit dem Tische durch einige Lagen wollenen Tuches unterstützt. Der gekrümmte Conductor wurde an die untere Seite des Cylindermantels 3 Cm entfernt von dem einen freien Querschnitte (a) des Cylinders constant angedrückt. Die Aufschlagstelle der Fallkugel auf der oberen Seite des Mantels waren 3 — 10 u. s. w. Cm vom Querschnitt a entfernt. Von der Aufschlagstelle 3 Cm der Fallkugel wurde also der Schall senkrecht in den Conductor geleitet, während die folgenden Aufschlagstellen immer grössere Winkel mit dem Conductor bildeten.

Tabelle 71.

Abstand der Aufschlagstelle der Fallkugel vom Rande des Cylindermantels in Cm	S_1 bis S_5	l-Werte. Gradliniger Abstand der Aufschlagstelle der Fallkugel von der Ansatzstelle des Conductors in Cm	Schallschwächung in s für 1 Cm $\left(\frac{l_p - l_1}{S_p - S_1}\right)$
3	58,5	28,1	—
10	64,1	29,1	5,6
30	102,3	38,8	4,1
50	130,1	54,3	2,7
70	142,5	72,8	2,1

Zahlreichere Versuche würden ohne Zweifel geringere Abweichungen der, für 1 Cm durchlaufenen Wegs berechneten, Schall-

schwächungswerte ergeben. Leider wurde mir die Wiederaufnahme dieser unvollkommenen und viel zu sparsam angestellten Versuche, deren Einzelbedingungen mir, wie ich offen gestehe, zudem nicht vollkommen klar sind, dadurch unmöglich, dass der Cylinder tiefe Risse bekam, die ihn zu weiteren Versuchen untauglich machten. Ich halte sie nur deshalb der Mitteilung für nicht gänzlich unwert, weil es sich hier um bis jetzt völlig ununtersucht gebliebene Fragen handelt, bei denen auch eine unvollkommene Beantwortung vorläufig nicht unwillkommen sein wird.

Als Endresultat ergiebt sich, dass, welches auch die Fortpflanzungsrichtung des Schalles sein mag, 1 Cm Weg eine Schwächung um 5—7 s bewirkt. Aus den Versuchen unter b folgt wohl wiederum eine etwas geringere Schwächung in der Richtung mehr senkrecht zur Längsfaser des Holzes; nur ist letzteres bei den geringeren l-Werten der Tabelle 71 nicht der Fall; die aber leider auf zu sparsamen Beobachtungen beruhen.

---

§ 45. Schalleitung durch Eis, Alabaster, Marmor und Blei.

1) Schalleitung durch Eis.

Zur Herstellung der erforderlichen Eiscylinder benützte ich einen 8 Cm hohen, dünnwandigen, hohlen Holzcylinder von 32 Mm Durchmesser im Lichten, dessen unteres Ende durch eine Tierblase verschlossen war. Nachdem das in den Cylinder gegossene Wasser gefroren war, wurde das fest anhaftende Eis von der Wandung abgelöst. Die Tierblase lässt sich leicht ablösen, wenn man sie nur kurze Zeit mit dem Daumen berührt; die übrige Eisoberfläche wird frei, wenn das Holz einigemal auf einer mässig erwärmten Metallplatte hin- und hergerollt wird. Die beiden Enden des Eiscylinders erhalten wiederum durch Aufsetzen auf die Metallplatte die erforderliche ebene Form. Längere Cylinder werden durch das Angefrieren kürzerer, sehr kurze Cylinder mittelst Durchsägen mit einer feinen Säge erhalten. Die Messungen wurden in einem kalten Zimmer an dem vereinfachten Phonometer ausgeführt. Der Eiscylinder stand unmittelbar auf einem der kurzen Cylinder des Phonometers; als Schallquelle diente ein, auf das obere Ende des Eiscylinders gelegtes, Plättchen Eichenholz von

3 Cm Durchmesser und 5 Mm Dicke, auf welches das Bleikügelchen zu fallen hatte.

Tabelle 72.

Länge des Eiscylinders in Cm	Gewicht des Eiscylinders in G	S, resp. S_1 und S_2	
I) 0 (Dynamiebestimmung)	—	6,93	Erster Tag
II) 1,2	—	7,40	
III) 7,5	—	9,88	
I) 1,1	5,5	4,90	Zweiter Tag
II) 14,0	91	9,16	

Am ersten Tag wurde die Messung des Breitendurchmessers und des Gewichtes der Eiscylinder unterlassen. Die Messungen des zweiten Tages, an welchem die Hörschärfe erheblich grösser war, beruhen auf viel zahlreicheren Einzelversuchen; der kurze Cylinder mit einem Breitendurchmesser von 2,6 Cm wog 5,49 G. Der lange Cylinder bestand aus 2 Stücken von 2,8 (dieses war das kürzere) und 3,5 Durchmesser; er wog 91 G. Demnach ist der innere Widerstand des Eises für 1 Cm Länge (bei den angegebenen Querschnitten) nach den Messungen des ersten Tages

$$= \frac{9{,}88 - 7{,}40}{7{,}5 - 1{,}2} = 0{,}39 \text{ s}; \text{ am zweiten Tag aber}$$

$$= \frac{9{,}16 - 4{,}90}{14{,}0 - 1{,}1} = 0{,}33 \text{ s}.$$

2) Schalleitung durch Alabaster.

Drei Alabastercylinder von 3 Cm Durchmesser und 0,3 — 7,2 und 11,6 Cm Länge, und 4,7 — 113 und 185 G. Gewicht wurden am vereinfachten Phonometer auf ihr Schalleitungsvermögen geprüft. Die Bleikügelchen fielen unmittelbar auf die Alabastercylinder; die Schalle waren auffallend dumpf. Der Schall ging somit von der Schallquelle (Alabaster) auf das Holz des Phonometers und von da in das Ohr des Beobachters.

Zur Bestimmung des Exponenten ε konnten die leichten Bleikügelchen von bloss 4,35 und 8,75 Mg), welche bei den Versuchen selbst gebraucht werden mussten, nicht in Anwendung kommen; ich war genötigt, um verhältnismässig stärkere, unter sich mit Sicherheit vergleichbare Schalle zu erhalten, mit einem Gewichtspaar 45,0 und 17,5 Mg, also $\frac{P}{p} = 2{,}571$ zu experimentieren. Die Fallhöhe des schwereren Kügelchens war constant 6 Mm; um dem

dadurch erzeugten Schall den durch das Auffallen des leichteren Kügelchens verursachten gleich zu machen, musste die Fallhöhe des letzteren (und zwar bei sämtlichen Alabastercylindern) einige 40 Mm betragen. Die Schwankungen der Fallhöhen waren gering, $\frac{H}{h}$ beträgt 7,66, also ergiebt sich für ε der niedere Wert von 0,464, der bei der Berechnung der Schallstärken S_1, S_2 u. s. w. der nachfolgenden Tabelle zu Grund gelegt ist.

Bei den gleichzeitigen Dynamieversuchen (letzte Vertikalreihe der Tabelle) fiel das Bleikügelchen (von bloss 3 Mg Gewicht) unmittelbar auf das Phonometer; in diesen Versuchen ist also Holz als Schallquelle benützt, während in den Hauptversuchen Alabaster als Schallquelle diente.

Tabelle 73.
Schallschwächung durch Alabastercylinder.
(Fallgewicht in Mg — Fallhöhen in Mm)

Länge der Alabastersäulen in Mm	a			b			c			Dynamiewerte		
	3			72			116					
	Fallgewicht	Fallhöhe	S_1	Fallgewicht	Fallhöhe	S_2	Fallgewicht	Fallhöhe	S_3	Fallgewicht	Fallhöhe	S
Tag 1	4,35	9	11,95	8,75	9	24,04	8,75	15	30,41	3,0	5	6,29
Tag 2	»	7	10,64	»	7	21,42	»	12	27,44	»	6	6,84
Tag 3	»	7	10,64	»	4	16,56	»	7,8	23,00	»	6	6,84
Tag 3	»	5	9,12	»	5	18,52	»	7	21,42	»	3	4,97
Tag 4	»	4	8,23	»	4,4	17,30	»	6	19,96	»	2,5	4,57
Mittlere Schallstärke: 10,116						**M: 19,56**			**M: 24,446**			**M: 5,902**

Die S_1, S_2 u. s. w. -Werte sind, strenge genommen, für jeden Einzelversuch besonders zu berechnen, wie oben in der Tabelle geschah. Nimmt man übrigens die Endmittel aus den Fallhöhen der drei Versuchsreihen a, b und c, so erhält man aus: mittlerer Fallhöhe a = 6,4 Mm für S_1 = 10,01
b = 5,88 » » S_2 = 19,77
c = 9,56 » » S_3 = 24,72,
Werte, die den aus den einzelnen S_1, S_2 u. s. w. berechneten Endmitteln so nahe liegen, dass wir uns bei dem letzteren Verfahren in der Regel beruhigen können, vorausgesetzt, dass die Zahl der Einzelversuche nicht gar zu geringfügig ist.

Die Versuche gestatten in der nachfolgenden Tabelle 3 Combinationen b : a, ferner a : c und c : b der Längen der Alabastercylinder und der zugehörigen Schallstärken S_2, S_1 u. s. w.

Tabelle 74.

a und b		a und c		b und c	
Länge in Cm	$S_2 - S_1$	Länge	$S_3 - S_1$	Länge	$S_3 - S_2$
6,9	12,09	11,33	18,46	4,4	6,37
	10,78		16,80		6,02
	5,92		12,36		6,44
	9,40		12,30		2,90
	9,07		11,73		2,66
Mittel:	9,45	M:	14,33	M:	4,88
1 Cm Alabaster schwächt den Schall um	1,37		1,27		1,11

Demnach schwächt 1 Cm des Alabastercylinders (von 3 Mm Durchmesser) den Schall um durchschnittlich 1,25 Schallstärkeeinheiten (bezogen auf Alabaster als Schallquelle).

Rechnen wir dem Fechner'schen Verfahren gemäss nach der Formel

$$\frac{\Sigma\,[l_p - l_q)\;(S_p - S_q)]}{\Sigma\,[(l_p - l_q)^2]} = \frac{A}{B},$$

so ergiebt sich für A = 1243,05, für B = 973,30, also für die Schallschwächung durch 1 Cm unseres Alabastercylinders der Wert 1,2772, ein Resultat, das den Werten der Tabelle, vor Allem dem Endwert 1,25, sehr nahe steht.

In obigen Versuchen diente der Alabaster selbst als Schallquelle. In einer zweiten Versuchsreihe wurde auf die drei Alabasterstücke ein rundes Eichenholzplättchen von 5,7 Mm Dicke und 3 Cm Durchmesser gelegt, welches von dem Fallkügelchen zunächst getroffen wurde, um seinen Schall auf den Alabaster und das Phonometer fortzupflanzen. Der S-Wert für 1 Cm Länge der Alabastersäule von 3 Cm Durchmesser war jetzt im Endmittel 1,14 s, für 1 G Alabaster aber 0,072 s.

3) Schalleitung durch Marmor.

Eine runde Marmorscheibe von 0,2 Cm Dicke, 2,8 Cm Durchmesser und 4,56 G Gewicht, diente nebst einer 20 Cm langen runden Säule von 3 Cm Durchmesser und 383 G Gewicht zur Bestimmung des Leitungswiderstandes des Materials. In der einen Versuchsreihe erschütterte das Fallkügelchen den Marmor wiederum direkt; die S_1- resp. S_2-Werte waren bei der Scheibe 6,73, bei der Säule 53,08, woraus sich berechnet für 1 Cm Länge der Schicht (und 3 Cm Durchmesser) 2,34 s.

In einer andern Versuchsreihe wurde auf beide Marmorstücke das eben erwähnte Eichenholzplättchen gelegt, das durch die Bleikügelchen erschüttert wurde. Die S_1- resp. S_2-Werte waren für die Scheibe 4,56, für die Säule 32,9; also schwächt 1 Cm Länge der Marmorsäule (bei 3 Cm Durchmesser derselben) den Schall um 1,43 s Schalleinheiten der gebrauchten Schallquelle (Eichenholzplättchen).

Demnach ist zur Herstellung einer Schwellenempfindung ein stärkerer Stoss erforderlich, wenn das Fallkügelchen die Alabaster- resp. Marmorcylinder unmittelbar erschüttert, als wenn zunächst ein kleines Holzplättchen als Schallquelle benützt wird, von welchem aus die Schwingungen auf den Marmor, resp. Alabaster, übergehen.

In den Versuchen, bei welchen das Eichenholzplättchen als Schallquelle benützt wurde, beträgt die Schallschwächung durch die 0,2 Cm dicke Marmorscheibe $1{,}43 \times 0{,}3 = 0{,}2865$. Somit ist die Summe der übrigen Schwächungen (Eichenholzplättchen, die Uebergangswiderstände aus dem Plättchen in den Marmor und aus letzterem ins Holz des Phonometers, ferner Phonometer selbst, Uebergangswiderstand von da ins Ohr und Leitung im Ohr) 4,28 s. Die Schallschwächung durch die 20 Cm lange Marmorsäule ist $20 \times 1{,}43 = 28{,}60$, wozu wieder der obige Wert (Summe aller obigen Widerstände) mit 4,286 kommt, um das 32,90 für S_2 zu erhalten.

Es versteht sich übrigens von selbst, dass die Schallstärken S_2, S_1 u. s. w. nicht ganz vollständig aufgezehrt werden; ein kleiner (je nach der jeweiligen Hörschärfe variabeler) letzter Rest der ursprünglichen Schallstärke muss als objektiver Reiz im Labyrinth noch vorhanden sein, um den Gehörnerven zu erregen. Die Grösse dieses Restes ist aber unbekannt.

4) Schalleitung durch Blei.

Die Bleicylinder A von 19,9 Cm Länge, 3,0 Cm Durchmesser und 1515 G Gewicht, sowie Cylinder B von 10,5 Cm Länge, einem zwischen 2,93 bis 3,0 Cm schwankenden Durchmesser und 790 G Gewicht, dienten zu den nachfolgenden Versuchen. Dieselben wurden auf die beiden kürzeren Holzcylinder des vereinfachten Phonometers gestellt. Schallquellen waren Eichenholzplättchen von 0,57 Cm Dicke und 3 Cm Durchmesser, welche auf die Bleicylinder gelegt wurden. Das Blei war also bloss Leiter des Schalls. Die Bleikügelchen waren 7,0 bis 12,6 Mg schwer. Zur Erzielung

vollständiger Vergleichbarkeit der Schallwerte wurden abwechselnd in jeder der 4 Versuchsreihen an beiden Cylindern mit je 8 Versuchen experimentiert und 4 mal solche Wechsel vorgenommen, so dass 64 Einzelbestimmungen auf jede der 4 Versuchsreihen fallen.

Tabelle 75.

Versuchsreihen	Kurzer Cylinder	Langer Cylinder	
	S_1	S_2	$S_2 - S_1$
a	37,69	52,85	15,16
b	37,69	52,85	15,16
c	30,32	42,97	12,65
d	35,94	49,03	13,09

Demnach ist die Schallschwächung in der Strecke von 1 Cm der Bleicylinder von 3 Cm Durchmesser, da $l_p - l_q = 9{,}4$ Cm, berechnet nach dem allereinfachsten Verfahren

aus beiden a = 1,59 s
b = 1,59
c = 1,33
d = 1,38
Mittel 1,473 s.

Die Versuchsreihen von a und b folgten unmittelbar auf einander; ebenso d unmittelbar auf c. Während der c-Versuche war, wie die S_1- und S_2-Werte zeigen, meine Hörschärfe erheblich grösser, als in den a- und b-Reihen, um aber alsbald wieder in der d-Reihe zu sinken. Die regelmässige Abwechselung der Versuche an beiden Bleicylindern bürgt für vollständige Vergleichbarkeit derselben. Die Hörschärfe mag grösser oder geringer sein während der einzelnen Versuchsreihen, immer erhalten wir nahezu dieselben Werte für die Differenz der beiden S_2 und S_1. Schallquelle war in obigen Versuchen, wie erwähnt, ein Eichenholzplättchen, von welchem der Schall durch das Blei in das Phonometer geleitet wurde. Eigentümlich war die Erscheinung, dass die durch den langen Bleicylinder fortgeleiteten Schwingungen bald als Ton, bald als Schall empfunden wurden. Der kurze Bleicylinder veranlasste bloss Schallempfindungen.

Eine kurze Uebersicht der an den geprüften Körpern gewonnenen Endresultate mag hier noch Platz finden. — Schallquelle war immer ein dünnes Eichenholzplättchen, das seine Erschütterungen durch die zu prüfenden Medien dem (vereinfachten) Phonometer zuführte. Das Experiment hat hier noch ein weites Feld

vor sich; es wird künftig sich von selbst verstehen, dass alle Versuche derart unter genau gleichen Bedingungen (gleiche Schallquelle, gleicher Durchmesser der geprüften Cylinder und Verwendung desselben Phonometers) angestellt werden.

Schwächung des Schalles (in s-Werten eines Eichenholzplättchens als Schallquelle) beim Durchgang durch Cylinder von 3 Cm Durchmesser und 1 Cm Länge; die s-Werte sind demnach zunächst nur unter sich vergleichbar:

Eis	0,36	Marmor	1,43
Alabaster	1,14	Blei	1,47.

Für die Querschnittseinheit (1 QCm) ergiebt die Längeneinheit (1 Cm) folgende Schwächungen:

Eis	0,0554	Marmor	0,202
Alabaster	0,161	Blei	0,209.

Für 1 G dieser Substanzen aber:

Eis	0,060	Marmor	0,074
Alabaster	0,059	Blei	0,0183.

---

§ 46. Die Schallschwächung durch ein zusammengesetztes System starrer Schalleiter von veränderlicher Länge.

Der Messung steht hier ein weites Versuchsgebiet offen, in welchem die Schalleitung zur Prüfung und Bewährung der Leitungsgesetze unter die verschiedensten Bedingungen gebracht werden kann. Ich musste mich vorerst auf den einfachsten Fall beschränken: zwei Leiter verschiedenen Materiales, deren Länge abgeändert werden könnte. Zugleich handelte es sich noch um die Prüfung der Wirkung von verhältnismässig langen Schichten des einen Leiters.

Der eine Leiter war ein horizontal liegender Buchenholzcylinder von 115 Cm Länge und 6 Cm Durchmesser, der dreifach vorhanden war und als ein-, zwei- und dreifache Schicht gebraucht werden konnte. Jede dieser Schichten ging am einen Ende in eine lange Schraube desselben Materiales über, so dass für eine vollständige Continuität der Leitung genügend gesorgt war. Einer dieser Cylinder ging in ein viereckiges Holzstück von den Dimensionen 20, 8 und 6½ Cm über. Die Cylinder wogen je 2718 G, der mit dem viereckigen Holzstück versehene 3359 G.

Auf das Holzstück wurde je nach Bedarf ein Bleiplättchen oder eine Schicht von solchen gelegt, die durch herabfallende Bleikügelchen in Schwingungen versetzt wurden. Der auf das andere (runde) Ende des Cylinders aufgesetzte Eichenholzconductor leitete den Schall in das Ohr des Beobachters. Die (runden) Bleiplättchen waren 8,79 G schwer, 1,15 Mm dick und hatten einen Durchmesser von 3 Cm.

Der Exponent ε der Fallhöhe hatte einen auffallend niedern Wert. Wurde ein auf das viereckige Holzstück gelegtes Bleiplättchen durch kleine Gewichte erschüttert und zugleich der Conductor in der Nähe des Plättchens aufgesetzt, so erhielt ich zwei gleich starke Schalle bei Fallkügelchen 4,35 Mg und dem Fallraum 30 Mm und Fallkügelchen 8,75 Mg und Fallraum 6 Mm.

$$\text{Also ist } \frac{P}{p} = 2{,}011 \text{ und log } 0{,}30341$$

$$\text{und } \frac{H}{h} = 5{,}0 \text{ und log } 0{,}6989\text{; also}$$

$$\varepsilon = 0{,}434.$$

Die Bleiplättchen wurden in 1-, 9- und 24facher Schicht benützt und jede dieser Schichten mit der 1-, 2- und 3fachen Länge des Holzcylinders combiniert. Die Zahlen der nachfolgenden Tabelle geben diejenige Schallstärke an, welche eben noch eine Schwellenempfindung hervorrufen konnte. Die Rubrik g bedeutet in Mg die Gewichte der Bleikügelchen, Rubrik h die Fallhöhe in Mm, Rubrik I die Schallstärke.

Tabelle 76.

	1 Bleiplättchen			9 Bleiplättchen			24 Bleiplättchen			
	g	h	I	g	h	I	g	h	I	Summe
			(a)			(b)			(c)	a + b + c
1 Holzcylinder	1,4	4	2,555	4,35	3	7,003	8,75	3	14,087	23,64
2 »	2,3	10	6,249	4,35	8	10,726	8,75	10	23,801	40,77
3 »	4,7	7	10,932	5,65	7	13,141	12,6	8	31,07	55,14

Ich musste mich auf diese einzige Versuchsreihe beschränken, deren Ergebnisse übrigens, mit Ausnahme der Schallstärke 13,141, ziemlich übereinstimmen. Als ursprüngliche Schallquelle hat das einfache Bleiplättchen zu gelten, also bei den mehrschichtigen Bleiplättchen das oberste Plättchen der Schicht. Bei derselben Länge des Holzcylinders haben wir eine Constante (oder annähernd Constante) x, zusammengesetzt aus der Schallschwächung im obersten

Bleiplättchen, dem Holzcylinder, dem Conductor und dem Ohr selbst; also z. B. für den einfachen Cylinder (wenn die Schallschwächung in einem Bleiplättchen = y)

a) $2{,}555 = x$
b) $7{,}003 = x + 8y$
c) $14{,}087 = x + 23y$.

Man erhält dann, um bei der allereinfachsten Berechnung der y-Werte (andere Verwendungen würde das so unvollkommene Material nicht rechtfertigen) stehen zu bleiben:

Tabelle 77.

	y-Werte			Mittel
	aus a und b	aus a und c	aus b und c	
1-facher Cylinder	0,556	0,501	0,472	0,509
2-facher Cylinder	0,559	0,763	0,730	0,730
3-facher Cylinder	0,276	0,875	1,195	0,782
Mittel:	0,464	0,713	0,797	

Die Abweichungen der berechneten y-Werte erklären sich — ganz abgesehen von den viel zu sparsamen Einzelversuchen — aus den etwas abweichenden Nebenbedingungen der letzteren; so sind z. B. die Uebergangswiderstände, auf deren Wirkung ich nicht eingehen konnte, nicht dieselben in allen Versuchen. Auch wäre es möglich, dass an den Berührungsflächen der an einander geschraubten Holzcylinder Widerstände sich geltend machen. Alle diese Einflüsse sind aber nicht stark genug, um das in vielen anderweitigen Versuchen festgestellte Gesetz umzustossen: dass der Schall bei seinem Fortschreiten in der Längseinheit des leitenden Mediums jeweils um denselben absoluten Betrag geschwächt wird.

Stellen wir endlich die Versuche zusammen, um den schallschwächenden Einfluss der Länge des Holzcylinders zu übersehen. Die Versuche mit den Cylinderlängen 1, 2 und 3, resp. die betreffenden Schallstärken, seien mit d, e, f bezeichnet.

Die nachfolgenden Tabellenzahlen bedeuten die Schallschwächung in der einfachen Cylinderlänge.

Tabelle 78.

	1 Bleiplättchen	9 Bleiplättchen	24 Bleiplättchen
aus d und e	3,694	3,723	9,000
aus d und f	4,188	3,069	8,490
aus e und f	4,683	2,415	7,270
Mittel:	4,186	3,069	8,253

Die Summen 23,64 — 40,77 und 55,14 der Tabelle 76 bestehen aus einem gemeinsamen (annähernd constanten) Wert x und einem, der Länge der Holzcylinder (annähernd) proportionalen y; man hat für y = 17,13 — 11,50 — 14,37.

---

§ 47. Messung der Schallschwächung im Telephon.

In den zahlreichen, mit Telephonen verschiedener Einrichtung in den letzten Jahren angestellten, Versuchen ist die durch die Fortleitung im Apparat bedingte Schallschwächung nicht zu messen versucht worden. Die einzigen mir bekannt gewordenen Bemühungen der Art rühren von Siemens her, welcher eine gewöhnliche Spieldose zu seinen Versuchen benützte. Er giebt an, dass ein Bell'sches Telephon etwa $^1/_{10000}$ der Schallmasse, von der es getroffen wird, auf das andere Telephon überträgt (Jahrbuch der Erfindungen von Gretschel und Wunder. XIV. Jahrgang. S. 89. Leipzig 1878). Der Schallverlust, wenn es sich um die Messung des Schalleitungs- und Schallschwächungsvermögens der Körper handelt, darf aber, wie wir wissen, nicht in Bruchteilen der Stärke des ursprünglichen Schalles angegeben werden, indem, je nach der absoluten Intensität des ursprünglichen Schalles diese Bruchwerte ganz verschieden ausfallen würden. Der Schall wird, wie aus den in dieser Schrift mitgeteilten, an Medien aller Aggregatformen angestellten, Versuchen hervorgeht, durch die Längseinheit des Leiters (von gleichbleibendem Querschnitt) jeweils um denselben absoluten Betrag gemindert. Nur wenige Beobachtungen am Telephon von wohl bekannten Tönen, z. B. der gewöhnlichen Menschenstimme, müssen übrigens hinreichen, um ohne Weiteres und ohne jeden phonometrischen Apparat zur sicheren Ueberzeugung zu kommen, dass dieselben (bei Anwendung der kurzen Leitungsdrähte des Zimmerversuches) ganz unmöglich bis auf ein Zehntausendstel ihrer ursprünglichen Stärke durch das Telephon abgeschwächt sein können.

Zu den nachfolgenden Versuchen, welche ich in Wiedemann's Annalen der Physik 1883, XIX. 207 bereits mitgeteilt habe, standen mir zwei Siemens-Halske'sche Telephone neuester Construction zu Gebot. An dem Exemplar Nro. 7752 ist von

der Fabrik bemerkt: 1918 Umdrehungen und 205 (Siemens-) Einheiten Stromwiderstand; bei dem Exemplar 7753 ist notiert: 2050 Umdrehungen und 208 Einheiten Widerstand. Zwei gewöhnliche ältere Telephone, mit welchen ich anfangs experimentierte, wurden, als viel weniger leistungsfähig, bald bei Seite gelegt. Der zwischen den Telephonen eingeschaltete Kupferdraht war 34 Meter lang und 0,88 Mm dick. Dazu kamen noch die beiden an den Siemens-Telephonen befestigten Drähte, welche die Verbindung zwischen Telephon und dem Leitungsdraht (mittelst einer Klemmschraube) herstellen. Jeder dieser Verbindungsdrähte ist 1 M lang, der Kupferdraht hat eine Dicke von 1,5 Mm. Beide Telephone befanden sich in besondern Zimmern, die durch zwei geräumige Zwischenzimmer von einander getrennt waren. Die für das, den Schall aufnehmende, Telephon — es sei als erstes T. bezeichnet — bestimmten Schalle konnten im Zimmer des zweiten Telephones durch die Luft nicht gehört werden.

Die Messungen wurden in den ersten Nachtstunden einiger Versuchstage bei tadelloser Stille der Umgebung angestellt. Ich beschränkte mich auf die in erster Linie in Frage kommende Feststellung der gesamten Schallschwächung durch die zwei Telephone, unter den oben bemerkten Versuchsbedingungen. Die Aufgabe besteht in der durch den Gehilfen zu bewirkenden Erregung quantitativ genau messbarer Schalle in irgend einer passenden Schallquelle; ich benützte die gewöhnlich von mir gebrauchte viereckige Zinnphonometerplatte von 2406 G Gewicht und den Dimensionen 222, 172 und 8,2 Mm. Die Phonometerplatte lag unmittelbar auf einem Tisch, so dass der Uebergang von Schwingungen der Platte auf letzteren nicht verhindert war, was aber auf die Messung des Schallverlustes in den Telephonen keinen Einfluss hat. Das erste Telephon wurde in einem Abstand von 3 Mm über die Phonometerplatte gehalten, welche durch Herabfallen kleiner Bleikugeln in die zur Schallbildung erforderliche Erschütterung versetzt wurde, während ich am zweiten Telephon hörte. Zu empfehlen ist, dass das letztere Telephon nicht durch die Hand des Experimentators, sondern durch ein Stativ in wagrechter Lage gehalten wird. Die Telephone dienen natürlich auch zur Verständigung zwischen dem Experimentator und dem Gehilfen, so dass ersterer die nötigen Aufzeichnungen, ohne seinen Platz zu verlassen, in aller Bequemlichkeit machen kann. Der Gehilfe erregt zuerst übermerkliche Schalle und mindert auf Commando die Schallstärke allmählich, bis die Schallempfindung des Experimen-

tators auf die Schwelle gesunken ist. Die dazu erforderliche Schallstärke heisse S_1; dieselbe drückt also die schwächste Erschütterung der Phonometerplatte aus, welche hinreicht, die nächste Luftschicht derartig in Schwingungen zu bringen, dass letztere die Platte des ersten Telephones genügend erschüttere, um dem Experimentator am zweiten Telephon eine (minimale) Schallempfindung zu verschaffen.

Um die absolute Schallschwächung durch die Telephone zu messen, hat der Experimentator in Parallelversuchen sein Ohr wiederum 3 Cm über der Schallquelle (Phonometerplatte) zu halten, während der Assistent das Fallgewicht, resp. die Fallhöhe bis auf den Punkt abmindert, der in dem Experimentator eine Schwellenempfindung erregt. Sei S die dazu erforderliche geringe Schallstärke, so ist die Schallschwächung durch beide Apparate und den sie verbindenden Leitungsdraht, d. h. die Summe sämtlicher Uebergangs- und innern Widerstände zwischen der Schallquelle und dem Ohr des Experimentators $= S_1 - S$. In S_1, sowie in S, sind natürlich auch die ausserordentlich geringen Widerstände (gemessen in Schalleinheiten der angewandten Phonometerplatte) jeweils mit inbegriffen, welche die Leitung des Schalles vom äussern Ohr in das Labyrinth des Experimentators verursacht. Demnach hat der Wert $S_1 - S$ in der That die oben erörterte Bedeutung.

An den Siemens-Telephonen erhielt ich folgende Resultate: das Ohr wurde dem zweiten Telephon so nahe als möglich gebracht, doch, um nur durch die Luft zu hören, jede Berührung mit dem Telephon vermieden. Die Schwellenempfindung trat ein, wenn die Zinnphonometerplatte durch eine Bleikugel von 1549 Mg Gewicht bei einem Fallraum von bloss 7 Mm erschüttert wurde. Für zwei Bleikügelchen von 2073 und 888 Mg Gewicht (also $\frac{P}{p} = 2{,}334$) und die angegebene Schallquelle wurde der Wert des Exponenten ε der Fallhöhe zu 0,6196 (rund 0,62) bestimmt. Die Schallstärke ist demnach $1549 \times 7^{0{,}62} = 5176$ MgMm (ausgedrückt in Schallstärkeeinheiten der Zinnphonometertafel).

Dieser Schall hat, wie man sieht, nur eine mässige Stärke; dieselbe entspricht einem schwachen, nur auf geringen Abstand hörbaren Ton der Menschenstimme. Wurde das Ohr an das Telephon angedrückt, so trat die Schwelle, wiederum bei der 1549 Mg schweren Fallkugel, schon bei 4 Mm Fallhöhe ein; man hat demnach $S_1 = 3659$. Schaltete ich statt des dicken Leitungsdrahtes einen andern, von etwas grössern Widerständen, ein, so änderte

sich der obige Wert $S_1 = 5176$ nicht bedeutend. Neben den Widerständen in den Telephonen selbst kommen also diejenigen unserer Leitungsdrähte (von den angegebenen Dimensionen) wenig in Betracht; auf die genauere Verfolgung dieser praktisch so wichtigen Frage konnte ich mich aber nicht einlassen.

Schliesslich wurde diejenige Schallstärke bestimmt, welche nötig ist, um meinem, der Phonometerplatte auf 3 Cm Abstand genäherten, Ohre eine Schwellenempfindung zu verschaffen. Dies war bei einem 2,4 Mg schweren Fallkügelchen und einer Fallhöhe von 12 Mm der Fall. Für dieses winzige Gewicht wurde ε an dem Gewichtspaar 17,5 und 8,75 Mg $\left(\frac{P}{p} = 2{,}00\right)$ zu 0,529 (rund 0,53) direkt bestimmt. Man hat also als Schallstärke $S\ 2{,}4 \times 12^{0{,}53} = 8{,}95$ MgMm.

Also ist, ausgedrückt in Schallstärkeeinheiten der Zinnplatte von 2406 G Schwere, die Schallschwächung durch das ganze System $5176 - 8{,}95 = 5167{,}1$, ferner die Schallschwächung bei Andrücken des Ohrs des Empfängers an das Telephon $3659 - 8{,}95 = 3650{,}1$; also ein viel geringerer Verlust, als beim Hören des Empfängers aus der Luft.

Aus der Differenz der Schallstärken 5167 und 3650 folgt, dass die Schallschwächung beim Uebergang von der Platte des zweiten Telephons in die Luft 1517 unserer Schallstärkeeinheiten beträgt. Der Verlust auf der Seite des ersten Telephons wird so ziemlich derselbe sein; mittelst direkter Erschütterung der Platte des ersten Telephons durch kleine Bleikügelchen könnte der in Rede stehende erste Verlust in Wegfall gebracht werden.

In einer Vormittagsstunde, bei grosser Unruhe der Umgebung (zahlreiche Maurer waren in etwa 120 Meter Abstand beschäftigt), wurden weitere Versuche angestellt. Mein 3 Cm über der Zinnphonometerplatte befindliches Ohr bekam die Schwellenempfindung erst bei 13,67 S (3,5 Mg Gewicht, 9 Mm Fallhöhe). — Hierauf wurde das erste Telephon wiederum in einem senkrechten Abstande von 3 Cm von der Phonometerplatte gehalten, während ich am andern Telephon (das Ohr war nicht an letzteres angedrückt) hörte. Die Empfindungsschwelle trat bei 4704 S_1 (1549 Mg Fallkügelchen, 6 Mm Fallhöhe) ein.

Also schwächt der gesamte Apparat den aus der Luft ihm zugeleiteten Schall des Zinnphonometers um 4704 S_1 minus 13,7 S = 4690 Schalleinheiten der Zinnphonometerplatte.

Mit Obigem bezwecke ich zunächst nur den Nachweis der

Brauchbarkeit meiner phonometrischen Methode auch für die vorliegenden Untersuchungen zu liefern; die experimentelle Feststellung sämtlicher einzelnen Schallschwächungsursachen — wobei vor allem sowohl die Drähte der Telephone, als auch der Leitungsdraht zwischen beiden Telephonen, sowie der Abstand der Eisenplatte vom Magnet innerhalb breitester Grenzen abgeändert werden müssten — würde zahlreiche besondere Versuchsreihen in Anspruch nehmen. Da ausserdem bekanntlich auch das Quale der zu leitenden Töne, resp. Schalle, in Betracht kommt, so muss ich es vorerst dahingestellt sein lassen, inwiefern die speciellen Bedingungen, unter welchen ich experimentierte, auf das allgemeine Versuchsresultat von Einfluss sind. Die Schallschwächung durch den ganzen Apparat ist jedenfalls nur innerhalb einer gewissen Breite der ursprünglichen Schallstärke eine constante, indem die Excursionen der Eisenplatte des Telephons von einer gewissen Schallstärke an hinter der letzteren zurückbleiben müssen. Die auch beim Telephon erforderliche Bestimmung der Gültigkeitsgrenze unseres Gesetzes, dass durch einen Leiter immer eine und dieselbe absolute, von der ursprünglichen Schallstärke unabhängige, Schallschwächung hervorgebracht wird, wäre somit eine weitere Aufgabe für die künftige Forschung.

Um das Endresultat kurz und anschaulich zu wiederholen, schwächten die beiden Telephone, samt ihrem Leitungsdraht, den Schall um 5167 Schalleinheiten der Zinnphonometertafel (die von einer Bleikugel erschüttert wird) ab. Das ist, wie früher bemerkt, aber ein verhältnismässig schwacher Schall, hervorgerufen durch das Herabfallen einer circa $1^1/_2$ G schweren Bleikugel durch einen Fallraum von bloss 7 Mm Höhe. Er ist objektiv bloss $\frac{5167}{8{,}95}$ = 577mal stärker als der schwächste Schall, den mein gut hörendes Ohr überhaupt noch wahrnehmen kann.

III. Schalleitung durch tropfbare Flüssigkeiten.

§ 48. **Die Messung der Schwächung des Schalles bei dessen Fortleitung in tropfbaren Flüssigkeiten.**

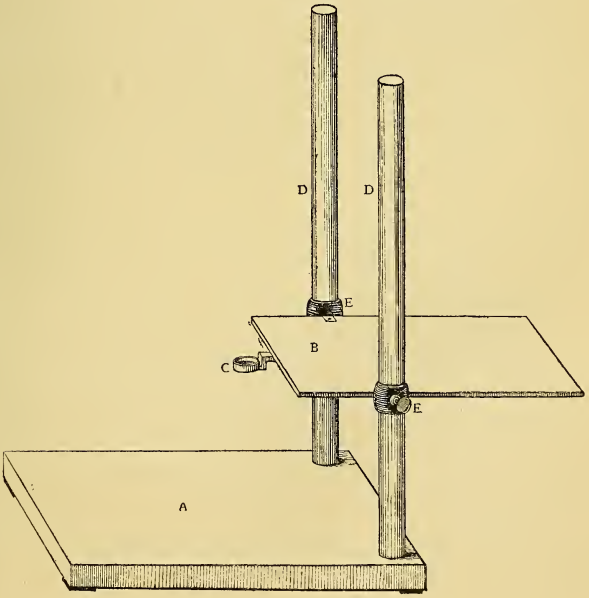
Bei der vorliegenden Aufgabe stellen sich der Ermittelung richtiger Versuchsanordnungen erhebliche Schwierigkeiten entgegen,

so dass wir von vornherein nicht immer sicher sein können, ob auch wirklich mit Ausnahme der Einflüsse, die eben untersucht werden sollen, völlige Gleichheit der übrigen Versuchsbedingungen erreicht worden ist. Die schliessliche und sichere Entscheidung, ob Letzteres in der That der Fall ist, geben aber immer die Versuchsergebnisse selbst. Die Flüssigkeitsbehälter, durch welche der Schall fortgeleitet wurde, hatten in der Regel einen unveränderten Querschnitt.

Offenbar würde es sich am meisten empfehlen, die Schalle und Töne in der zu prüfenden Flüssigkeit selbst zu erregen, z. B. durch in dieselbe herabfallende Tropfen desselben Materials (deren Gewicht freilich schwer zu messen wäre), oder durch Gewichte, welche aus beliebigen Fallhöhen in die Flüssigkeit fallen würden. Vorversuche haben mir jedoch die Unausführbarkeit dieser Verfahrungsweise ergeben.

Demnach haben wir den Schall einer fremden Schallquelle der Flüssigkeit mitzuteilen, deren Leitungsfähigkeit gemessen werden soll. Als Schallquelle benütze ich einen runden Elfenbeinbecher; C Fig. 10 (deren Einzelteile in der Zeichnung, je nach

Fig. 10.



Bedürfnis, in sehr verschiedenem Masse verkleinert sind) mit ebenem Boden. Die Wanddicke beträgt 3 Mm, der Durchmesser 38 Mm, die Höhe der Wand, den Boden mitgerechnet, ist 15 Mm. Der Becher war durch ein Zwischenstück mit dem wagrechten Brettchen B fest verbunden, das mittelst zweier durch Schrauben fixierbaren Hülsen E längs der senkrechten Holzcylinder D, D verschoben werden konnte, die auf dem wagrechten Grundbrett A befestigt waren. Auf dem Brettchen B stand der Fallapparat. Bleikügelchen erregten den Schall durch Herabfallen in den Elfenbeinbecher, der etwa 7 Mm tief in die zu prüfende Flüssigkeit eingetaucht war. Der in der Flüssigkeit fortgeleitete Schall wurde durch einen polierten Eichenholzconductor, dessen unteres Ende 2 Cm in die Flüssigkeit eingetaucht war, dem Ohr zugeleitet; der Conductor war 15 Cm lang, die andern Dimensionen waren dieselben, wie bei den übrigen Eichenholzconductoren. Ein Stativ von Eichenholz, an dessen 18 Cm langem horizontalem Schenkel der Conductor senkrecht verschoben und durch eine Schraube festgestellt werden konnte, diente zur Fixierung des in die Flüssigkeit eingetauchten Conductors.

Als Flüssigkeitsbehälter benützte ich eine 1 M lange Rinne (Rinne I) von Zinkblech, deren beide oberen schmalen Ränder im Lichten um 11,7 Cm von einander abstanden. Der Boden der Rinne war ausgeschweift, seine tiefste Stelle zeigte einen senkrechten Abstand von 10 Cm vom oberen Rand. Nahezu gefüllt enthält die Rinne 10 500 CCm Flüssigkeit. Die Peripherie des Wasserquerschnittes, d. h. der Contact des letzteren mit der Röhrenwand, ist 27,1 Cm.

Eine kleinere Rinne (Rinne II), in zwei Exemplaren vorhanden, war 102 Cm lang, am oberen Ende 7,5 Cm breit; die tiefste Stelle des ausgeschweiften Bodens betrug 4 Cm; die Rinne, nahezu gefüllt, enthielt 2000 CCm Flüssigkeit.

Die Wände an den beiden Schmalseiten der Rinnen waren eben und senkrecht. Die gesamte Innenwand beider Rinnen war mit dickem Baumwollbiber ausgefüllt, um Schallreflexe thunlichst zu vermeiden. Der Contact des Wasserquerschnittes mit der Röhrenwand betrug 10,5 Cm. Wurde die Schallquelle direkt mit dem Conductor verbunden, so war ein S = 7,62 erforderlich, um im Ohr eine eben noch merkliche Schwellenempfindung zu veranlassen.

Ausserdem wurden zu einigen Versuchen 3 viereckige Behälter von Zink mit senkrechten Wandungen benützt. Ihre Länge betrug 20, die Breite 8 Cm. Die senkrechten Wände des Be-

hälters I hatten 11 Mm, die des Behälters II 38, die des Behälters III 158 Mm im Lichten. I fasste bis nahe zum Rand gefüllt 140, II 560 und III 2500 CCm. Die Innenwände dieser Behälter waren nicht mit Tuch ausgefüttert.

Sei die Schallstärke, die erforderlich ist, um einen eben noch merklichen Schall durch den Conductor dem Ohr zuzuleiten, $= S_1$, der Abstand der Schallquelle (Elfenbeinbecher) vom Conductor $= n$ Längeneinheiten (Cm); ferner eine zweite Schallstärke, um die Gehörempfindungsschwelle bei einem kleinen Abstand m dem Conductor zuzuleiten, $= S_2$ und X die Schallschwächung beim Durchgang durch die Einheit (Cm) der Flüssigkeitsschicht, so hat man, wenn C eine Constante bezeichnet:

$$nx + C = S_1$$
$$mx + C = S_2$$
$$\text{also } X = \frac{S_1 - S_2}{n - m}.$$

Die Constante, in beiden Fällen genau gleich, besteht aus der Summe der Schallschwächungen: 1) beim Durchgang durch die Wandung des Elfenbeinbechers, 2) beim Uebergang aus letzterem in die Flüssigkeit, 3) beim Uebergang von der Flüssigkeit in den Conductor, 4) bei der Fortleitung in dem Conductor, endlich 5) im Ohr selbst.

Leider konnte ich kein Verfahren auffinden, um die Grösse der unter 2) erwähnten Partiarconstanten (Uebergangswiderstände) experimentell direkt feststellen zu können. Ich benützte 3 verschieden weite Becher, die so in einander gestellt werden konnten, dass ihre Böden- und Seitenwände jeweils durch eine 1 Cm dicke Flüssigkeitsschicht von einander getrennt waren. Jeder Becher wurde durch ein besonderes Stativ gehalten.

Je nachdem man 2 oder 3 Becher zusammen benützt, erhält man eine Schallschwächung in der Folge der Fortleitung des Schalles durch eine 1 oder 2 Cm betragende Flüssigkeitsschicht und 3 oder 5 Uebergangshemmungen. Bei einem Becher allein haben wir bloss 1 Uebergangshemmung.

Es wären somit Versuchsanordnungen genug gegeben, um den Betrag der beiden Hemmungen (durch die Wand der Schallquelle und die Uebergänge) bestimmen zu können. Ich kam aber zu dem mir unerwarteten Ergebnis, dass durch das Ineinanderschalten der Becher der ursprüngliche Schall verstärkt wird, so dass dasselbe Fallgewicht und dieselbe Fallhöhe bei 2 oder 3 Bechern einen stärkeren (!) Schall (offenbar durch Bildung kräfti-

gerer stehender Schwingungen) als bei bloss einem Becher ergiebt. Ich musste deshalb darauf verzichten, die vorliegende Frage experimentell weiter zu untersuchen.

---

§ 49. Der Intensitätsverlust des Schalles bei seiner Leitung durch Wasser, gemessen mittelst Schwellenempfindung.

Dass Steine, unter Wasser gegen einander geschlagen, auf grosse Entfernungen hörbare Schalle geben, ist längst bekannt; eine Messung oder auch nur beiläufige Taxation der Schwächung, welche der im Wasser fortgeflanzte Schall erleidet, ist aber bis jetzt auch nicht einmal versucht worden.

Zu den nachfolgenden Experimenten diente vor Allem das sehr reine Wasser der Tübinger Wasserleitung, dessen Schalleitungsvermögen in den beiden Rinnen I und II (pag. 208) untersucht wurde. Als Schallquelle wurde der, pag. 207 erwähnte, Elfenbeinbecher unter den daselbst angegebenen Versuchsbedingungen benützt, dessen Schall dem Wasser unmittelbar mitgeteilt und sodann durch eine 91, 51,3 oder 11,5 Cm lange Schicht dem ins Wasser an dem Ende der Rinne eingetauchten Eichenholzconductor zugeleitet wurde. Die Fallkügelchen waren 12,6, 17,5 und 36,5 Mg schwer.

Die mit gleichen Buchstaben (A, B, C) bezeichneten Versuche der nachfolgenden Tabelle wurden jeweils innerhalb derselben, 1 bis 2 Stunden umfassenden, Versuchsreihe angestellt.

Die drei senkrechten Kolumnen der Tabelle enthalten für die drei verschieden langen Wasserschichten die Schallstärken ($S_1 - S_2 - S_3$), die zur Herstellung der Schwellenempfindung beim Hören am Conductor erforderlich waren, selbstverständlich bezogen auf die angewandte Schallquelle (Elfenbeinbecher).

Tabelle 79.

Abstand der Schallquelle vom Conductor in Cm.

	91 (S_1)	51,3 (S_2)	11,5 (S_3)	
A	135,23	130,18	124,99	Grosse Rinne (I)
B	130,18	122,33	116,90	
C	158,35	143,88	124,66	
Mittel:	141,25	132,13	122,18	

	91 (S_1)	51,3 (S_2)	11,5 (S_3)	
A	36,267	24,091	18,965	Kleine Rinne (II)
B	42,974	36,267	28,550	
C	68,084	55,164	45,233	
Mittel:	49,108	38,507	30,916	

Tabelle 79 giebt die an der grossen (10 500 CCm haltenden) Rinne gewonnenen Versuchszahlen. Bei den 3 verschiedenen Abständen des Ohres von der Schallquelle betrugen die zwischenliegenden Wassermassen 9555, 5386 und 1207 CCm; der Querschnitt des Wassers ist somit 104,99 QCm. Die zur Schwellenempfindung erforderlichen Schallstärken haben die Werte 141,25 — 132,13 — 122,18.

Diese Werte geben 3 Combinationen der $S_p - S_q$ und der $l_p - l_q$. Man hat z. B.

$$\text{Comb. 1} = \frac{141{,}25 - 132{,}13}{91 - 51{,}3} \text{ u. s. w.}$$ Also der Reihe nach:

Combination S_1 und S_2 = 0,229
S_1 und S_3 = 0,239
S_2 und S_3 = 0,250
Mittel = 0,239

Die an der kleinen mit 2000 CCm Wasser gefüllten Rinne (II) gewonnenen Endergebnisse sind folgende: Zwischen der Schallquelle und dem in das Wasser eingetauchten Conductor befanden sich bei 91, 51,3 und 11,5 Cm gegenseitigem Abstand der Letzteren 1784, 1003 und 225 CCm Wasser. Der Querschnitt der Wasserschicht war also 19,58 QCm. Um dem Ohr jeweils dieselbe Schallstärke zuzuführen, d. h. eine eben noch hörbare Schallempfindung zu veranlassen, musste in den drei Versuchsreihen A, B und C die Erschütterung der Schallquelle im Durchschnitt 49,108, 38,507 und 30,916 S_1, S_2 u. s. w. betragen.

Die 3 Combinationen der $S_p - S_q$ und der zugehörigen $l_p - l_q$ sind wiederum:

$S_1 - S_2$ = 0,267
$S_1 - S_3$ = 0,229
$S_2 - S_3$ = 0,191
Mittel = 0,229

also nahezu identisch mit dem Endmittel 0,239 der Versuche an der grossen Rinne. Für die Schallschwächung durch 1 Cm Länge

der Wasserschicht nehmen wir im Mittel aus beiden Zahlen an s = 0,234.

Die graphische Darstellung der Versuchsresultate beider Tabellen (Abstände von der Schallquelle = Abscissen; $S_1 - S_2$ u. s. w. = Ordinaten) ergiebt zwei mit zunehmenden Abständen mässig ansteigende Geraden, die von einander in senkrechter Richtung weit abstehen und unter sich parallel sind. Die der Abscisse nähere Gerade gehört der schmaleren Rinne mit viel kleinerem Wasserquerschnitt an. Demnach schwächt die Längeneinheit (1 Cm) der Wassermasse den Schall in beiden Versuchsreihen um gleichviel; der Coëfficient beträgt, wie oben gefunden worden, im Mittel 0,2344 s (genauer 0,23417) (Schalleinheiten des Elfenbeinrecipienten).

Die S_1-, S_2- u. s. w. Werte sind zusammengesetzt:

I) aus einer in beiden Versuchsreihen Constanten, welche sämtliche Schallschwächungen begreift, mit Ausschluss der durch die Leitung im Wasser selbst verursachten; also die Schwächung beim Leiten durch den Elfenbeinrecipienten, die beiden Schwächungen beim Uebergang des Schalles vom Recipienten ins Wasser und von da in den Conductor; endlich die constanten Schwächungen durch den Conductor und die zuleitenden Apparate des Gehörorgans. In dieser Constanten ist selbstverständlich ausserdem noch ein kleiner Rest objektiver Schallbewegung enthalten, welcher übrig bleibt, um im Labyrinth den Gehörnerven zu einer Schwellenempfindung zu veranlassen. Dieser Rest ist somit gleichgross, resp. klein, in sämtlichen Versuchen. Ausser Stand, diese Schwächungen in ihrem Gesamtbetrag aus den Versuchszahlen berechnen zu können, bestimmte ich dieselben auf dem Versuchsweg folgendermassen: Der Elfenbeinrecipient wurde direkt auf den Conductor gesetzt (wobei für grösstmögliche Gleichheit der Bedingungen, wie bei den Versuchen mit Wasser selbst gesorgt wurde), während ich am Conductor den Schwellenwert bestimmte. Er betrug 6,62 S. Damit sind sämtliche sub I begriffene Schallschwächungen gemessen mit Ausnahme der zwei unbedeutenden Uebergangswiderstände in und aus dem Wasser. In Folgendem werde ich S mit 7,0 in Rechnung bringen.

II) Aus einem der Entfernung von der Schallquelle, d. h. der Länge der zwischen Recipient und Conductor befindlichen Wasserschicht einfach proportionalem Wert (Coëfficient = 0,2344 s für 1 Cm Länge).

III) Aus einer für jede der beiden Wasserrinnen besonderen Constanten, die für die weitere Rinne einen bedeutend höheren

Wert zeigt, als für die schmale Rinne. Diese Constanten verhalten sich sehr annähernd wie die unveränderlichen Querschnitte der Wassermassen jeder Rinne. Ziehen wir von den S_1, S_2 u. s. w. der Tabelle 79 die Constante S (= 7) ab und ausserdem die Werte der, der Länge der Wasserschichten Proportionalen (d. h. die Produkte 0,2344 in 91 — 51,3 — 11,5, also für beide Versuchsreihen 21,33 — 12,02 und 2,69), so erhalten wir:

für die grössere Rinne	für die kleinere Rinne
112,92	20,778
113,11	19,527
112,49	21,226
Mittel 112,51	Mittel 20,510
d. h. 5,47	1

Das Verhältnis 1 : 5,47 steht dem der Querschnitte des Wassers beider Rinnen, d. h. 1 : 5,36 sehr nahe. Unsere Constante III wird somit von dem Querschnitt der leitenden Wasserschicht bestimmt. Die Querschnitte der Wassermasse in beiden Rinnen sind 104,99 und 19,58 QCm. Da $\frac{112,51}{104,99} = 1,072$ und $\frac{20,510}{19,58} = 1,047$, so hat man für 1 QCm Querschnitt der Wassermasse im Mittel 1,0595.

Die Schallschwächung in einer Wasserrinne von gleichem Querschnitt beträgt nach Früherem, unter der Bedingung, dass der Schall bei seiner Fortleitung zugleich aufgezehrt wird, für 1 Cm 0,2344, für 1 QCm Querschnitt 1,0595, wozu noch eine kleine Constante kommt, die ich für die Schwellenversuche zu 6,6 taxiert habe. Die Schalle sind in Schalleinheiten des Elfenbeinrecipienten angegeben. Sämtliche Schallschwächungen addieren sich, wie der Versuch unwiderleglich zeigt.

Sei l die Anzahl der Längseinheiten (Cm), q die Anzahl der Querschnittseinheiten.

In Tabelle 79 habe ich für die breite Wasserrinne (Querschnitt 104,99 QCm) bei 91 Cm Länge der Wasserschicht eine Schallstärke S_1 von 141,25 erhalten, damit am andern Rinnenende eine Schwellenempfindung ausgelöst wird.

Also ist $141,25 = 0,2344 \times 91 + 6,6 + 1,0595 \times 104,99$
$= 21,33 + 6,6 + 111,24$
$= 139,17.$

Ferner wurde in derselben Tabelle 79 für die schmale Wasserrinne (Querschnitt 19,58 QCm) bei 91 Cm Länge der Wasserschicht eine Schallstärke von 49,108 gefunden, um bei der genannten Ent-

fernung (Länge der Wasserschicht) eine Schwellenempfindung zu erhalten. Man hat also

$$\begin{aligned} 0{,}234 \times 91 &= 21{,}33 \\ \text{ferner die Constante} &= 6{,}6 \\ \text{und } 19{,}58 \times 1{,}0595 &= 20{,}74 \\ &\overline{48{,}67} \end{aligned}$$

Theoretische Erwägungen, die ich hier nicht näher ausführen will, veranlassten mich zur Anstellung von Versuchen, ob die hinter der Schallquelle liegende Wassermasse, die nach der entgegengesetzten Richtung vom Schall durchzogen wird, von Einfluss auf die Strecke, deren Leitungsvermögen direkt untersucht wird, sein könne, oder ob Reflexe an den beiden Röhrenenden Ungleichheiten in die Versuchsbedingungen einführen könnten. Ich experimentierte an drei schmalen Rinnen (wiederum 19,58 QCm Querschnitt des Wassers); die erste war 33, die zweite 66, die dritte (zu den früheren Versuchen gebrauchte) 100 Cm lang. Der Abstand zwischen Schallquelle und Conductor betrug in allen drei Fällen 25 Cm. Da die Durchmesser des Conductors und des Elfenbeinrecipienten je 3 Cm betragen, so musste der Conductor in der kürzesten Rinne bis auf 1 Cm dem einen Rinnenende genähert werden; die Schallquelle war somit von dem andern Rinnende ebenfalls nur um 1 Cm entfernt. Dieser letztere Abstand betrug in der 66 Cm langen Rinne 34, in der 100 Cm langen aber 68 Cm. Der Schall war also in letzterer längst vernichtet, ehe er das Ende hätte erreichen und Reflexe verursachen können; letzteres ist aber selbstverständlich nicht der Fall in der kürzesten Rinne. Die Wasservolume der drei Rinnen, die um ein wenig stärker gefüllt waren, als in früheren Versuchen, betrugen 700, 1400 und 2100 CCm. Die S_1, S_2 u. s. w. Werte, um durch die jeweils 25 Cm lange Wasserschicht und den Conductor einen eben noch merklichen Schall dem Ohr zuzuführen, waren aber dieselben in sämtlichen Rinnen, nämlich 54,5.

§ 50. Messung der Schwächung des Schalles bei dessen Fortleitung durch Wasser mittelst starker Schallempfindungen.

Zahlreiche Versuchsreihen haben zu dem Ergebnis geführt, dass der Schall bei seiner Fortleitung in Medien jedweden Aggregatzustandes von Schicht zu Schicht (bei gleichbleibendem Querschnitt) um denselben absoluten Betrag abgeschwächt wird. Die Schallstärke wird somit durch die Längeneinheit (1 Cm) des leitenden Mediums (bei gegebenem Querschnitt) um einen bestimmten Betrag geschwächt. Das Gesetz habe ich übrigens fast immer nur in der Art geprüft, dass bei den Versuchen jeweils bloss diejenige ursprüngliche Schallstärke angewandt wurde, die durch das leitende Medium bis auf den Punkt der Ebenmerklichkeit abgeschwächt wird. Das Gesetz der Schallschwächung ist somit in der Regel nur an ursprünglich relativ schwachen Schallen geprüft worden; in einigen Versuchsreihen wurden übrigens starke Schalle verwendet, welche durch schlechtleitende Medien bis zum Punkt der Ebenhörbarkeit abgeschwächt wurden. Man kann aber auch zu den Messungen, statt der Schwellen, Schallempfindungen von beliebiger Stärke verwenden, nach dem § 28 erwähnten Verfahren, dessen übermerkliche resp. starke Schalle manche Vorteile bieten. Ich habe übrigens diese Versuchsmethode nur zweimal, in Tab. 103, § 57 und in Nachfolgendem angewandt, und begnüge mich, die Allgemeingültigkeit meines, von der Schallstärke unabhängigen, Leitungsgesetzes auch auf diesem Wege nachgewiesen zu haben.

In den nachfolgenden Versuchen wurden als Schallquelle die § 48 beschriebenen Elfenbeinrecipienten (b und b_1) benützt, welche durch Bleikügelchen erschüttert wurden. Die Recipienten waren in Wasser eingetaucht, das sich in den zwei, § 48 beschriebenen, schmalen Rinnen befand. Die Exponenten ε der Fallhöhe der Bleikügelchen wurden für die kleineren Gewichte zu 0,66, für die Gewichte über 800 Mg zu 0,74 bestimmt.

An dem einen Ende beider Rinnen waren die § 48 beschriebenen Conductoren c und c_1 von Eichenholz in das Wasser eingetaucht, die in einen gemeinsamen Conductor m übergingen, welcher den Schall ins Ohr leitete. Die eine Schallquelle (Recipient b) wurde in das Wasser so nahe dem Conductor c eingetaucht, dass der Abstand beider bloss 3,5 Cm betrug, während Recipient b_1 von dem Conductor c_1 94 Cm abstand.

Durch Herabfallen eines Bleikügelchens durch eine bestimmte Höhe auf den Recipienten b wurde ein Schall von constanter Stärke hervorgebracht, und sodann bei einem zweiten Kügelchen und dem Recipienten b_1 die Fallhöhe so lange abgemindert, bis beide Schallstärken als gleichgross empfunden wurden.

Die ursprüngliche Schallstärke musste also in Recipient b kleiner sein, als in Recipient b_1, dessen Schall durch eine 94 Cm lange Wasserschicht zum Conductor c_1 geleitet wurde, während der Schall b nur eine 3,5 Cm lange Wasserschicht zu durchdringen hatte. Die Schallschwächung durch die Längeneinheit (1 Cm) der Wasserschicht (von dem früher angegebenen Querschnitt) konnte somit aus den Versuchszahlen unmittelbar berechnet werden.

Tabelle 80.

	Länge der vom Schall durchzogenen Wasserschicht 94 Cm.			Länge der Wasserschicht 3,5 Cm.		
	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	Schallstärke in Einheiten des Elfenbein-recipienten	Fallgewicht in Mg	Fallhöhe in Mm	Schallstärke
I)	25,95	15	155,0	25,95	7,8	100,7
II)	132,6	15	792,0	141,0	7,8	547,0
III)	889	13	5931,0	897,0	7,8	4164,0

Somit hat die Schallstärke 155 in der Schichtenlänge von

$$94 - 3{,}5 = 90{,}5 \text{ Cm}$$

$$155 - 100{,}7 = 54{,}3 \text{ Schallstärkeeinheiten}$$

verloren, während die Schallstärken 792 und 5931 unter denselben Bedingungen um 245,0 und 1767 schwächer wurden. Die Abschwächung des Schalles beträgt also für 1 Cm Schichtlänge des Wassers (von dem angegebenen Querschnitt) für die 3 Schallstärken:

Tabelle 81.

Ursprüngliche Schallschwächung	Abschwächung in 1 Cm
I) 155 = 1	0,60 = 1
II) 792 = 5,1	2,77 = 4,5
III) 5931 = 38,2	19,52 = 32,7

Die Schwächung, welche unter diesen Versuchsbedingungen der Schall in der Längseinheit (1 Cm) der Wasserrinne erleidet, ist somit proportional der ursprünglichen Schallstärke. Die Letzteren zeigen in unseren Versuchsreihen so bedeutende Verschiedenheiten, dass die gefundenen Abweichungen von der Proportionalität wenig in Betracht kommen oder nur auf Nebeneinflüsse hinweisen.

Berechnen wir in der nachfolgenden Tabelle den Gesamtschallverlust für die drei ursprünglichen Schallstärken, in der ganzen Wasserstrecke von 94 Cm Länge, so sind, je für die Strecke 3,5 Cm, für I 2,1, für II 9,69 und für III 68,3 Schallstärkeeinheiten den für 90,5 Cm Länge berechneten hinzuzufügen. Man erhält dann die Werte der Rubrik b der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 82.

Ursprüngliche Schallstärke a	Gesamtverlust des Schalles im Wasser b	Rest a — b
I) 155 = 1	56,4 = 1	98,6 = 1
II) 792 = 5,1	254,7 = 4,5	537 = 5,4
III) 5931 = 38,2	1835,3 = 32,5	4096 = 41,4

Ein Teil des Restes a — b wird verbraucht; der grösste Teil der Schwingungsenergie gelangt aber bis ins Labyrinth, um dort als objektiver Schall den Hörnerv zu erregen. Wie viel von dem Rest a — b durch die Widerstände verzehrt wird, lässt sich ohne Zweifel durch eine grössere Reihe mühsamer und zeitraubender Versuchsreihen experimentell feststellen; ich musste darauf verzichten. Jedenfalls sind die einzelnen der aufgeführten Schallschwächungen, sowie die übrigbleibenden Intensitäten der Schwingungen im ganzen System, der ursprünglichen Schallstärke wiederum einigermassen proportional.

Reihen wir an die, mit zum Teil starken Schallen und entsprechenden Empfindungen, gewonnenen Ergebnisse diejenigen an, welche an derselben Wasserrinne und mittelst derselben Schallquelle (Elfenbeinrecipient) erhalten wurden mittelst schwacher Schalle, die immer bis zur Schwellenempfindung abgeschwächt wurden (s. § 49). Die vom Schall durchzogene längste Wasserstrecke (der schmalen Rinne) betrug 91 Cm; war die Schallstärke am einen Ende der Rinne 49,108 im Mittel, so konnte am andern Ende eben noch eine Schwellenempfindung wahrgenommen werden. 1 Cm Länge der Wasserschicht (von dem angegebenen Querschnitt) schwächte den Schall um 0,2344 ab. Bei einer 94 Cm langen Wasserschicht musste die Schallstärke 49,8 betragen, um am andern Ende der Rinne eben noch eine Schallempfindung zu vermitteln. Der Schallverlust ist $0{,}2344 \times 94 = 22{,}0$.

Tabelle 83.

Ursprüngliche Schallstärke	Gesamtverlust des Schalles im Wasser	Schwächung des Schalles in 1 Cm der Wasserschicht (vom angegebenen Querschnitt)
49,8 = 1	22,0 = 1	0,2344
155 = 3,11	56,4 = 2,5	0,60
792 = 15,9	254,7 = 11,5	2,77
5931 = 119,1	1835,3 = 83,4	19,52

Die Schallstärke differiert in obiger Tabelle um ungefähr das 100fache; die Schallverluste sind aber wiederum als proportional den ursprünglichen Schallstärken zu betrachten. Der übrigbleibende Rest der Schallstärke 49,8 führt, wie erwähnt, zu einer Schallempfindung (= 1), während die übrigen Schalle resp. Empfindungen zunehmend stärker sind.

Die Versuche dieses § unterscheiden sich also von denen des § 49 dadurch, dass der Schall beim Durchgang durch die 94 Cm lange Wasserschicht nicht erschöpft wird. Die ursprünglich schwache Schallstärke 49,8 wurde am Ende der Rinne bis zur Schwelle (Schallstärke 1) erschöpft, während die Erschöpfung bis zur Schwelle folgende Längen der Wasserschicht ohne Zweifel erfordern würde:

	(49,8 =	94	Cm)
für Schallstärke	155 =	544	»
»	792 =	3268	»
»	5931 =	25229	»

Bei einer Wasserrinne von 25229 Cm würde sicherlich der Schall bis zum Schwellenwert abgemindert, bei der ursprünglichen Stärke 155 in einem Abstand von 544 Cm u. s. w. Ist nun die Länge der Wasserrinne, also auch die Wassermasse dieselbe, so wird ein gewisser schwächster Schall hinreichen, um am anderen Ende eben noch eine Schwellenempfindung (Schallstärke 1) zu erhalten, wogegen die zunehmend stärkeren Schalle das Wasser stärker erschüttern, so dass am Ende der Rinne, nach Abzug der constanten Widerstände, Schallstärken übrig bleiben, welche den ursprünglichen Schallstärken annähernd proportional sind. Ist letzteres in meinen Versuchen nun annähernd der Fall, so rührt das — abgesehen von den Schwierigkeiten der Messungen — davon her, dass die Widerstände ohne Zweifel in der That nicht genau constant bleiben, worüber ich aber vorerst keine Angaben machen kann.

Für die in diesem § erwähnten Versuche mit hörbaren Schallen

(statt der Schwellen) ist die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung deshalb geringer, weil ich — wie schon oben erwähnt — die Constante nicht genau kenne.

Nehmen wir als Beispiel die ursprüngliche Schallstärke 155, welche in der Schichtenlänge von 90,5 Cm Wasser (experimentiert wurde an der schmalen Rinne) 54,3 Schallstärkeeinheiten verlor. Wir haben somit

$$\begin{aligned} 0{,}2344 \times 90{,}5 &= 21{,}2 \\ \text{Constante} &= 6{,}6 \\ 1{,}0595 \times 19{,}58 &= 20{,}7 \\ & \overline{48{,}5}, \end{aligned}$$

also ein Deficit von 5,8.

Dieses erklärt sich daraus, dass die Constante 6,6 zu nieder angenommen ist.

---

§ 51. Leitung des Schalles durch verschiedene tropfbare Flüssigkeiten.

Die Untersuchungen wurden an der kleinen Rinne (II, § 48) angestellt, um mit sparsameren Flüssigkeitsmengen experimentieren zu können. In der Auswahl der zu prüfenden Flüssigkeiten wurde besondere Rücksicht auf möglichst grosse Verschiedenheit der Eigenschaften derselben, Leicht- und Schwerflüssigkeit, specifisches Gewicht, Homogeneität (Fluida mit und ohne aufgeschwemmte mikroskopische Partikelchen) u. s. w. genommen. Um die Schallschwächung bei dieser Fortleitung innerhalb der Flüssigkeiten zu bestimmen, wurden Flüssigkeitsschichten von 93 — 30 — zum Teil auch 60 Cm Länge verwendet. Die Messung der Uebergangswiderstände in die Flüssigkeiten und aus denselben musste aus früher erwiesenen Gründen unterlassen werden. Leider hatte ich keine hinlänglichen Quecksilbermengen zur Verfügung, um die Messungen auch auf diesen Körper ausdehnen zu können.

Tabelle 84 bedarf nach den früheren Auseinandersetzungen keiner weiteren Erklärung. Die 6 geprüften höchst verschiedenen Flüssigkeiten zeigen hinsichtlich des Schallschwächungsvermögens durch gleiche Wegstrecken des Leiters Unterschiede um etwa das 6,8fache.

Tabelle 84.

Flüssigkeiten		Flüssigkeitsschicht von 93 Cm S_1	Flüssigkeitsschicht von 60 Cm S_2	Flüssigkeitsschicht von 30 Cm S_3
Ochsenblut [1]	1	89,840	76,928	63,977
1051 spec. Gewicht	2	99,426	86,483	75,818
Gummi-Arabicumlösung [2]		77,661	68,084	55,164
Gesättigtes Kochsalzwasser	1	68,084		
spec. Gewicht 1205	2	68,084		52,802
Weingeist 0,815 spec. Gewicht, 92 Gewichtsteile Alkohol in 100 G		59,686		50,371
Leinöl 0,939 spec. Gewicht		52,687		49,020
Kuhmilch [1]	1	96,306		86,483
1030 spec. Gewicht (2 verschiedene Sorten)	2	59,686		50,371

Die geprüften Flüssigkeiten schwächen in einer Strecke von 1 Cm Länge den Schall um folgende Werte (ausgedrückt in Schallstärken des Elfenbeinrecipienten):

Tabelle 85.

Schwächungscoëfficienten für eine 1 Cm lange Schicht (und dem für die schmale Rinne angegebenen Querschnitt).

Ochsenblut	0,3928	Wasser (s. § 49)	0,2344
Lösung von Arabischem Gummi	0,3925	Kuhmilch	0,1518
Gesättigte Kochsalzlösung	0,2426	Weingeist	0,1479
		Leinöl	0,0582

Bloss beim Ochsenblut und der Gummilösung (welche auch bei 60 Cm Abstand der Schallquelle vom Conductor geprüft wurden) konnten 3 Combinationen der $S_p - S_q$ zur Berechnung des Endmittels benützt werden. Am ersten Versuchstag ergab sich s = 0,4105, am zweiten 0,3752; also im Mittel 0,3928. Für die 3 Combinationen der S_n-Werte der Gummilösung ergiebt sich s 0,3917 — 0,3926 — 0,3933; also im Endmittel s = 0,3925.

1) Von dem Blut und der Kuhmilch wurden je 2 Sorten (1 und 2) geprüft.

2) Die sehr zähe Lösung enthält in 2950 CCm 1725 G arabischen Gummis (mittlerer Qualität).

Bei den übrigen Medien liess sich s bloss mittelst einer einzigen Combination bestimmen; für Kuhmilch gab der erste Versuchstag 0,1559, der zweite 0,1478 s, also ist das Mittel 0,1518.

Berechnen wir schliesslich die Schwächungsconstante für 1 QCm Flüssigkeitsquerschnitt. Zunächst ist nach Früherem von den gefundenen S_1-, S_2- u. s. w. Werten die Summe der übrigen constanten Schallschwächungen, abgesehen von den durch die Flüssigkeiten verursachten Schwächungen, d. h. 8 s abzuziehen. Ferner ist abzuziehen das Produkt der jeweiligen Länge der Flüssigkeitsschicht (93 — 60 — 30) in den Schwächungscoëfficienten der Tabelle 85. Der übrigbleibende Rest ist schliesslich zu dividieren durch den Querschnitt 19,58 QCm. Man erhält dann die nachstehenden Werte, berechnet aus den 3, resp. bloss 2, an jeder Flüssigkeit angestellten Messungen.

Tabelle 86.

Constante Schwächungscoëfficienten der Flüssigkeiten für 1 QCm Querschnitt.

	Einzelwerte	Mittel
Ochsenblut	2,5599 2,5306 2,5493	2,5466
Gummilösung	1,6934 1,8359 1,7973	1,7755
Gesättigte Kochsalzlösung	1,9163 1,9103	1,9133
Weingeist	1,9372 1,9336	1,9354
Leinöl	2,0058 2,0043	2,0050
Kuhmilch	2,8539 2,8496	2,8518
(Wasser s. u.	—	1,0389)

Die Zahlen dieser Tabelle bieten erheblich geringere verhältnismässige, bloss das 2,8fache betragende, Unterschiede des Schallschwächungsvermögens (für 1 QCm Querschnitt) als die der Tabelle 84. Dagegen ist der schallschwächende Einfluss des Querschnittes viel grösser als in den die Längsdimension betreffenden Versuchen der Tabelle 85. Die Vergleichung beider Tabellen führt überhaupt zum Ergebnis, dass die Grösse der, in Tabelle 86 untersuchten, Constanten zu der Stärke der durch die Längseinheit des Leiters bewirkten Schallschwächung in keiner Beziehung steht.

Von sachlichen Erwägungen muss ich, zufrieden einige Thatsachen nachgewiesen zu haben, hier vollständig absehen.

Diese wenigen Versuche können überhaupt nicht den Anspruch machen, die Schallschwächung in den 6 untersuchten Flüssigkeiten definitiv genau feststellen zu wollen. Dazu wären viel zahlreichere Einzelversuche erforderlich. Man sieht, welche umfassende Aufgaben auch im Gebiet der tropfbaren Flüssigkeiten die Phonometrie vor sich hat; auf Grund zahlreicher Versuche an möglichst vielen und möglichst differenten Flüssigkeiten wird sich auch dereinst der Zusammenhang zwischen sonstigen physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten und ihrem Schallschwächungsvermögen erkennen lassen.

---

§ 52. Schalleitung in grösseren Wassermassen.

Die Messung der Schallschwächung in grossen, ja sehr grossen Wassermassen, z. B. Teichen oder kleinen Seen, würde mit keinen besonderen Schwierigkeiten verbunden sein, auch keine complicierten Apparate in Anspruch nehmen.

Ein gehörig langer gerader Holzstab wäre vom Ufer aus einige Centimeter tief ins Wasser zu tauchen und mittelst Fallkugeln oder Schallpendeln in Erschütterung zu bringen. Von einem Kahn aus, der der Reihe nach in verschiedene Abstände von der Schallquelle zu bringen wäre, würde der Beobachter mittelst eines ins Wasser eingetauchten Holzstabes den Schall empfangen, der wiederum bis zur Schwellenempfindung abzustufen wäre.

Ausserdem könnte man nach der zweiten Methode (§ 28) verfahren und mit Schallen von beliebiger Stärke experimentieren. Der Beobachter hätte vom Ufer aus einen Hörstab ins Wasser zu senken; die erste Schallquelle würde einen constanten Abstand vom Ufer haben und einen gut hörbaren Schall durch das Wasser zum Beobachter leiten. Die zweite Schallquelle hätte grössere variable Abstände zu nehmen, und wäre ihr jeweils diejenige Stärke zu geben, welche nach ihrer Leitung durch das Wasser Hörempfindungen von derselben Stärke, wie die constante Schallquelle, erregt. Annähernd gleiche Tiefe des Wassers bei allen geprüften Abständen wäre allerdings noch erforderlich.

Wegen Mangels an geeigneten Lokalitäten musste ich mich auf ein in einem grossen Behälter befindliches Wasserquantum beschränken. Ich vermied es, dem Behälter eine kreisförmige, ellip-

tische, parabolische u. s. w. Gestalt zu geben, um die bekannten, unter diesen Bedingungen zu Stande kommenden, Reflexe zu vermeiden. Versuche an Behältern mit glatten Wänden und den eben erwähnten Formen dürften übrigens zur Messung der Schallreflexe in Flüssigkeiten zu empfehlen sein.

Der von mir verwendete, aus Zinkblech angefertigte, Behälter war ein gleichschenkliges Dreieck, mit schwach abgestutzter Spitze. Die Innenwand war mit einer Lage von Baumwollbiber ausgekleidet. Die Basis des Dreieckes war (im Lichten) 118,5 Cm lang, die der Basis parallele Abstutzungsfläche hatte eine Länge von 5,5 Cm; die beiden Seitenwände waren 131,5 Cm lang. Der gerade Abstand von der Mitte der Basis bis zur Mitte der gegenüberliegenden Abstutzungsfläche betrug 117 Cm. Die lotrechten Wände hatten eine Höhe von etwas über 13 Cm. Der Boden war mit sechs Füssen versehen, um dessen vollständige Berührung mit der Unterlage (Tisch) zu vermeiden. Die Tiefe der Wasserschicht schwankte wegen der Nachgiebigkeit des Bodens an verschiedenen Stellen zwischen 10—12½ Cm. Die ganze Wassermasse betrug 80 Liter.

Schallquelle war ein runder Elfenbeinrecipient von 3 Cm Durchmesser und 1,5 Cm Wandhöhe, welcher etwa 7 Mm in das Wasser eingesenkt war. Die Erschütterung wurde durch Bleikügelchen hervorgebracht.

Leider hatte ich versäumt, an dem glattwandigen Zinkbehälter, vor dem Ueberziehen desselben mit Baumwollbiber, welcher wohl das Zustandekommen von Reflexen erschweren wird, Versuche anzustellen, so dass meine Messungen nur ein kasuistisches Interesse bieten könnten.

Der massive Conductor (von Eichenholz), welcher die Schallschwingungen von jeder beliebigen Stelle des Wassers meinem Ohr zuführte, musste grosse Dimensionen haben. Er bestand aus einem 23 Cm hohen senkrechten Stab, der am unteren, auf den Tisch gestellten Ende breiter war, um am Tischrand angeschraubt werden zu können. An das obere Ende dieses senkrechten Stabes wurde das Ohr des Beobachters angedrückt. Von einer am senkrechten Conductor verschiebbaren Hülse von Holz, die durch eine Schraube festgestellt werden konnte, ging ein 61 Cm langer Stab horizontal ab, dessen Ende in einen 14 Cm langen senkrechten Stab überging, dessen unteres Ende 7 Cm in das Wasser eingesenkt wurde. Sämtliche 3 Stücke des Conductors waren rund und hatten einen Durchmeser von 3 Cm.

1) Schallerregung am schmalen Ende des Behälters.

Die Mitte des Recipienten (Schallquelle) war 4,5 Cm von dem Schmalende des Behälters entfernt; bei der kürzesten Distanz hatte der ins Wasser getauchte Conductor einen Abstand von 17,5 Cm vom Schmalende des Behälters, also einen Abstand vom Recipienten von 11,5 Cm. Die zweite Eintauchstelle des Conductors war 51,3 Cm, die dritte Eintauchstelle 91 Cm vom Recipienten entfernt. Das Centrum des Conductors war also in letzterem Fall in einem Abstand von 18,5 Cm von der Basis des Behälters. Schallquelle und Conductor befanden sich immer in der Längsachse des Behälters.

Im Mittel aus unseren Versuchen erhielt ich an zwei Versuchstagen die nachfolgenden Schallstärken, die an den entsprechenden Eintauchstellen des Conductors Schwellenempfindungen hervorriefen.

Tabelle 87.

Abstand des Conductors von der Schallquelle	11,5 Cm	51,3 Cm	91 Cm
	Schallstärke		
Erster Tag	115,2	217,8	161,3
Zweiter Tag	158,4	265,7	217,9

Daraus geht hervor, dass an der von der Schallquelle am meisten (91 Cm) entfernten Stelle der Schall weniger geschwächt ankommt, als an der näheren (51,3 Cm) Stelle, Ergebnisse, welche als notwendige Folge der Reflexe wohl zu erklären sind.

2) Schallerregung in der Nähe der Basis des Behälters.

Der Mittelpunkt der Schallquelle (Recipient) war von der Basis 20 Cm weit entfernt; die Eintauchstellen des Conductors standen der Reihe nach von der Schallquelle um 11,5 — 51,3 und 91 Cm ab; letztere Eintauchstelle war also an dem Ort, wo in den Versuchen der Tabelle 87 die Schallquelle sich befand. Die Schallquelle und die Conductoren lagen, wie bei den vorhergehenden Versuchen, in der das Dreieck halbierenden Mittellinie.

Ich erhielt folgende Werte:

Tabelle 88.

Abstand des Conductors von der Schallquelle in Cm	11,5	51,3	91
	Schallstärke		
	494,3	233,3	176,5

Auch dieses Resultat lässt sich aus den Versuchsbedingungen wohl erklären; es handelt sich hier um eine Art Wasserhörrohr, in welchem an der schmalsten Stelle die reflektierten Wellen sich kreuzen müssen.

Aus diesen Erfahrungen geht hervor, dass auch eine weiche Wand den Schall im Wasser wirksam reflektiert; leider habe ich, wie erwähnt, keine Versuche anstellen können, um unter sonst gleichen Bedingungen die Reflexion von den glatten Wänden des Zinkbehälters zu prüfen.

IV. Schalleitung durch elastische Flüssigkeiten.

§ 53. Messung der Schwächung des Schalles bei seiner Fortleitung durch Luft mit Hilfe der Schwellenempfindung.

In erster Linie handelt es sich um die Messung der Schwächung, welche der Schall bei seiner Fortpflanzung durch Luftsäulen erleidet, die von jeweils gleichlumigen, runden Röhren eingeschlossen sind. Es ist bekannt, dass an dem einen Ende einer sehr langen Röhre erregte Schalle von einem am andern Ende befindlichen Ohre »noch sehr deutlich« gehört werden. Messende Versuche liegen aber auch bei diesem Medium nicht vor.

Ich verfertigte mir aus dickem, endlosen Rollenpapier eine Anzahl Röhren von 6,2 Cm Durchmesser und verschiedener Länge. Die Röhren wurden in 2—3 auf einander liegenden Papierschichten über einem Holzcylinder gerollt und die einzelnen Schichten mittelst Leim mit einander verbunden. Die Röhren waren gehörig steif und von tadellos gleichem Lumen. Selbst die etwas schwierigere Anfertigung eines etwas über 5 Meter langen Papierrohres von wiederum demselben Lumen gelang vollständig, obschon kein Holzmodell für diese ganze Länge zur Verfügung stand. Ich begnügte mich mit zwei kürzeren Holzcylindern, um welche die beiden Enden des Papieres gerollt wurden; eine Assistenz von acht Händen hatte dafür zu sorgen, dass auch das Mittelstück des langen Rohres dasselbe Lumen wie die Endstücke erhielt.

Als Schallquelle diente der § 48 beschriebene Elfenbeinrecipient, der so ausserhalb des einen Rohrendes stand, dass sein

dem letzteren zugewandtes Ende genau in der senkrechten Querschnittsebene des Rohrendes sich befand. Die Röhren hatten beim Versuch eine wagrechte Lage. Der Boden des Recipienten fiel immer mit dem horizontalen Querdurchmesser der Röhre zusammen. Dicht am andern Röhrenende befand sich mein Ohr. Der Boden des Elfenbeinrecipienten wird durch die herabfallende Bleikugel in senkrechte Schwingungen versetzt, an welchen natürlich auch die Wandung des Recipienten sich beteiligt. Die Luft kommt an der ganzen äusseren und inneren Oberfläche des Recipienten in Erschütterung; über die Richtung und Stärke der von den einzelnen Teilen des letzteren ausgehenden Luftschwingungen wird es aber schwer sein, sich genauere Vorstellungen zu machen. Ich wenigstens bin dazu nicht befähigt. Dazu kommt noch der Umstand, dass die Schallquelle eine merkliche Dimension (38 Mm in horizontaler Richtung) hat, wodurch die Berechnung des Abstandes des Ohres von derselben erschwert ist, ein Einfluss, der sich wenigstens bei den geringen Abständen geltend macht. Bei meinen Versuchen ist der jeweilige Abstand der, dem Beobachter zugewandten, Wand des Recipienten von dem Ohr der Messung zu Grunde gelegt.

Die Versuche wurden in der Art angestellt, dass an einem Versuchstag mit dem kürzesten, resp. engsten, am andern mit dem längsten, resp. weitesten Rohr angefangen wurde. In der vierten, mit »ursprüngliche Schallstärke« überschriebenen Vertikalreihe der nachfolgenden Tabelle 89 sind diejenigen S-Werte (Schallstärken) aufgeführt, welche in dem bloss 2 Cm vom Elfenbeinrecipienten entfernten Ohre (also ohne Anwendung eines Rohres) die Hörschwelle erregten. Das Fallgewicht war in letzteren Versuchen constant 2,2 Mg, so dass ich mich bei der Angabe der Schallstärken einfach auf die S-Werte beschränken kann.

Die Versuche über die Schalleitung in der Luft müssen in abgelegene Lokalitäten oder ruhige Nachtstunden verlegt werden, da das offene Ohr, auf welches selbstverständlich kein Conductor gesetzt werden kann, durch auch nur schwache Geräusche in den Schwellenempfindungen bedeutend beeinträchtigt würde.

Dieselbe Methode dient auch zur Messung der Schallschwächung in der freien Luft, nur muss, wenn auch grosse Abstände des Ohres von der Schallquelle geprüft werden sollen, für entsprechend starke Schalle gesorgt werden. Ganz besonders kann ich zu diesem Zweck grosse Schallpendel (s. § 21) empfehlen, die besser transportiert werden können, als die Phonometer.

§ 54. Schwächung des Schalles bei seiner Leitung durch Luftsäulen von verschiedener Länge.

Zunächst experimentierte ich an Röhren (von der im vorigen § angegebenen Beschaffenheit) von 45,8, 91,7 und 137,5 Cm Länge und 6,2 Cm Durchmesser. Obschon die Röhrenlänge nur mässig variierte, wie 1 : 2 : 3, so stellten sich gleichwohl nach wenigen Versuchen ganz constante Resultate heraus; später wurden zwei andere Röhren von 22,9 und 502 Cm Länge und wiederum 6,2 Cm Durchmesser hinzugefügt, unter gleichzeitiger Benützung der drei schon früher gebrauchten. In Nachfolgendem gebe ich die Versuchsdetails an den drei in den Versuchstagen a bis e zuerst gebrauchten Röhren, sowie die in 21 weiteren Tagen (f bis h) gewonnenen Ergebnisse, an welchen auch an den 22,9 und 502 Cm langen Röhren experimentiert wurde. (Ueber die Schallquelle (Elfenbeinrecipient) s. § 48 und 53.) Das Fallkügelchen hatte in fast allen Versuchen ein Gewicht von 3,5 Mg, so dass in der Tabelle 89 die Angabe der S hinreicht, indem der Fallraum nötigenfalls aus den S-Werten und dem Fallgewicht berechnet werden kann. Der Fallraum musste zwischen 3,5 und 12 Mm variieren. Nur in den Versuchen an dem 502 Cm langen Rohr war das Fallgewicht 5,1 Mg schwer; die Fallhöhe betrug 13 und 14 Mm. Der Exponent ε war bei diesen kleinen Fallkügelchen wiederum nahezu 0,59; in einer viel späteren Versuchszeit (nach einigen Jahren) bestimmte ich denselben etwas niederer zu 0,569.

Tabelle 89.

S-Werte bei der Leitung durch verschieden lange Luftsäulen.

Versuchstag	Länge der Luftsäule in Cm			Ursprüngliche Schallstärke (Hören ohne Rohr in einem Abstand von 2 Cm von der Schallquelle) (Fallgewicht 2,2 Mg)
	45,8	91,7	137,5	
a	7,945	9,047	9,714	—
b	7,329	9,047	11,032	—
c	7,574	9,047	11,032	4,206
d	10,465	11,032	11,032	4,985
e	10,073	11,490	12,796	4,985
f	11,935	13,618	15,162	4,985
g	9,047	10,643	12,796	5,335
a	7,945	10,073	11,032	5,687
h	8,610	10,367	11,490	5,200
Mittel:	8,991	10,485	11,888	5,055

Die Versuche (ohne Rohr) mit bloss 2 Cm Abstand des Ohres von der Schallquelle sind, wie man sieht, mit den übrigen nicht genau vergleichbar; dazu kommt noch, dass störende Reflexe vom Kopf gegen die Schallquelle und von da wieder zum Ohr nicht zu den Unmöglichkeiten gehören, die den niedern Wert 5,055 vielleicht erklären könnten.

An der kürzesten und der längsten Röhre wurde nur in den Versuchstagen f bis h experimentiert mit folgenden Ergebnissen:

Tabelle 90.

Versuchstage	S-Werte	
	Länge der Luftsäule in Cm	
	22,9	502
f	11,935	23,164
g	7,329	24,199
a	7,329	24,199
h	7,329	23,164
Mittel:	8,480	23,681

Die an den 5 Röhren gewonnenen Mittelwerte lassen 10 Combinationen zu, deren Ergebnisse in nachfolgender Tabelle verzeichnet sind; 1, 2, 3 u. s. w. bedeuten die Ordnungszahlen der Röhrenlängen.

Tabelle 91.

Berechnung der Versuchsresultate der Tabelle 89 und 90.

Combinationen der Röhrenlängen [22,9(1) .... 502(5)]	$l_p - l_q$ Differenzen der Röhrenlängen in Cm a	$S_p - S_q$ Differenzen der entsprechenden S-Werte b	$\frac{b}{a}$
1 und 2	22,9	0,511	0,0223
1 und 3	68,8	2,005	0,0291
1 und 4	114,6	3,400	0,0297
1 und 5	479,1	15,201	0,0316
2 und 3	45,9	1,494	0,0325
2 und 4	91,7	2,897	0,0316
2 und 5	456,2	14,690	0,0322
3 und 4	45,8	1,403	0,0307
3 und 5	410,3	13,196	0,0321
4 und 5	364,5	11,793	0,0323

Die Luftsäule der kürzesten Röhre zeigt in Betreff der Schallschwächung eine stärkere Abweichung von den übrigen längeren Röhren, was wohl annehmbar erscheint wegen der schon früher hervorgehobenen Schwierigkeit, den Abstand der (relativ breiten)

Schallquelle vom Ohr für die kürzeste Strecke genau messen, resp. berechnen zu können. In der Combination 1 : 5 macht sich diese Abweichung begreiflich nicht mehr geltend. In den 7 letzten Combinationen der Tabelle differieren die Quotienten $\frac{b}{a}$ im Maximum nur um $^1/_{17}$, was in Anbetracht der mässigen Anzahl von Versuchen kaum in Betracht kommt.

Berechne ich das Endmittel und aus den $\frac{b}{a}$-Werten der 7 letzten Versuchscombinationen der Tabelle 91 d . . . h nach meinem zweiten Verfahren, so ergiebt sich für eine 1 Cm lange Luftsäule von dem angegebenen Querschnitt eine Schallschwächung um 0,03186 s (den Elfenbeinrecipienten als Schallquelle vorausgesetzt). Nach dem summarischen Verfahren ist s = 0,031716. Das rationelle Verfahren I Fechner's führt für eine 1 Cm lange Luftsäule zu dem Wert 0,032679 s. Der wahrscheinliche Fehler (berechnet nach § 35) ist 0,00041636.

Mit Zugrundelegung des Coëfficienten 0,032679 erhalten wir für die fünf verschieden langen Luftschichten die nachfolgenden Schallschwächungen.

Tabelle 92.

Länge der vom Schall durchzogenen Luftschicht in Cm	Die der Länge der Luftschicht proportionalen Schallschwächungen
22,9	0,74835 s
45,8	1,4977
91,7	2,9967
137,5	4,4936
502,0	16,4048

Geben wir uns nunmehr Rechenschaft über die bei den verschiedenen Röhrenlängen constanten Schallschwächungen.

Nennen wir die Summe aller bei diesen Versuchen in Wirkung kommenden constanten Schallschwächungen S_0, so ist dieser nach Formel y § 35 berechnete Wert = 7,4770 mit einem wahrscheinlichen Fehler 0,098867. Ziehe ich von dem in freier Luft bei 2 Cm Abstand von der Schallquelle beobachteten S = 5,055 die Schallschwächung durch 2 Cm Luftschicht mit 0,0647 ab, so bleiben noch übrig 4,9903 s, als Summe der (constanten) Schallschwächungen durch die Leitung im Ohr bis in das Labyrinth, sowie der zur Herstellung der Schwellenempfindung erforderlichen objektiven minimalen Reizgrösse und der zwei Uebergangswiderstände vom Recipienten (Schallquelle) in die Luft und aus letzterer

in das Trommelfell. Die Summe S_0 sämtlicher Constanten ist aber 7,4770; wird davon 4,9903 abgezogen, so bleibt ein Rest übrig von 2,4867 s, der (nach den an tropfbaren Flüssigkeiten gemachten Erfahrungen) auf das Vorhandensein einer zweiten Constanten, die sich auf die Schallschwächung in der Luft selbst beziehen würde, hinzudeuten scheint.

Die Versuche über die Schallschwächung in der Luft hätten mich kaum zur Annahme dieser zweiten Constanten geführt; die Erfahrungen über die Schallschwächung im Wasser legen aber eine derartige Annahme nahe und laden zur Prüfung ein, ob sich letztere mit den Thatsachen in Uebereinstimmung bringen lasse. Nach meinen Erfahrungen über Schalleitung in, von gleichlumigen Rinnen eingeschlossenem, Wasser darf ich die Vermutung aussprechen, dass die in Rede stehende zweite Constante 2,4867 von dem constanten Querschnitt (30,17 QCm) der in obigen Versuchen verwendeten gleichlumigen (6,2 Cm Durchmesser) Röhren abhängen möchte. Die Constante 2,4867 schliesst übrigens, worauf ich besonders aufmerksam machen möchte, zwei Uebergangswiderstände ein und ist somit in gewissen Beziehungen, die im nächsten § zu erörtern sind, etwas zu gross.

---

§ 55. Schwächung des Schalles bei seiner Leitung durch Luftsäulen verschiedenen Querschnittes.

Um den Einfluss des Querschnitts der eingeschlossenen Luftsäule zu prüfen, wurden ausser dem im vorigen § gebrauchten 91,7 Cm langen Rohr noch zwei andere angefertigt von derselben Länge, aber anderem Durchmesser. Die Röhren hatten folgende Masse:

	Durchmesser in Cm	Querschnitt in Cm	
a)	3,6	10,17 = 1	
b)	6,2	30,17 = 2,96	(das bisher schon gebrauchte Rohr)
c)	10,71	90,04 = 8,85.	

Zu sämtlichen Versuchen der nachfolgenden Tabelle wurde ein 3,5 Mg schweres Bleikügelchen verwendet; ich unterlasse wiederum die Angabe der Fallhöhe des Kügelchens, welche nötigen-

falls aus den S-Werten (mit Hilfe von $\varepsilon = 0{,}59$) berechnet werden könnte. Die Versuche während einer stillen Stunde am Beginn der Nacht reichten vollständig hin, um das hier massgebende Gesetz zu finden. Jede der 4 an demselben Rohre angestellten Versuchsreihen beruht auf 6—10 Einzelversuchen; in der ersten Versuchsreihe wurde von a durch b nach c aufgestiegen, in der zweiten umgekehrt von c nach a gegangen u. s. w.

Tabelle 93.

Zur Entstehung der Hörschwelle erforderliche Schallstärken (S) bei der Leitung durch Luftsäulen verschiedenen Querschnittes.

Querschnitt der Röhren in QCm.

	a) 10,17 QCm	b) 30,17	c) 90,04
1te Versuchsreihe	6,692	9,047	12,796
2te »	7,021	8,498	12,796
3te »	7,329	8,498	13,209
4te »	7,574	7,949	12,773
Mittel:	7,154	8,498	12,893

Die Wachstümer der S-Werte sind, wie die vorstehende Tabelle übersehen lässt, den Zunahmen der Röhrenquerschnitte proportional.

Prüfen wir aber dieses Verhältnis näher, zunächst nach dem ersten Fechner'schen Verfahren, so ergiebt sich, wenn $l_p - l_q$ die Differenzen je zweier Röhrenquerschnitte und $S_p - S_q$ die Differenzen der entsprechenden, experimentell gefundenen, Schallstärken darstellen, für $\Sigma\,[(l_p - l_q)\,(S_p - S_q)] = 748{,}38 = A$ und für $\Sigma\,(l_p - l_q)^2 = 10363{,}6 = B$, also (s. § 31)

$$\text{für } X_{a\alpha} = \frac{A}{B} = \frac{748{,}38}{10363{,}6} = 0{,}072209.$$

Da $\Sigma\,(S_p - S_q)^2 = 54{,}059 = C$, so hat man für

$$X_{a\beta} = \frac{C}{A} = 0{,}072236.$$

Berechnen wir rückwärts nach der Formel $l_p - l_q = \frac{S_p - S_q}{X_{a\alpha}}$ aus den experimentell gefundenen $S_p - S_q$ und aus X_a die $l_p - l_q$ und vergleichen letztere mit den gegebenen $l_p - l_q$, so erhalten wir

Tabelle 94.

Combinationen der Werte der Tabelle	$l_p - l_q$ (in Cm) gegeben	$l_p - l_q$ (in Cm) berechnet	Differenz zwischen berechneten und gegebenen Werten	Quadrate der Differenzen (Fehler)
a und b	20,00	18,613	1,387	1,9238
a und c	79,87	79,478	0,392	0,1537
b und c	59,87	60,865	0,995	0,9900
		Summen:	2,774	3,0675

Für $X_{a\beta}$ wären die Summen der Differenzen zwischen den berechneten und gegebenen Werten 2,788, die Summen der Quadrate der Differenzen 3,0671.

Prüfen wir auch diesmal wieder, ob nicht etwa nach X_r noch bessere Resultate zu erhalten wären, als bei der Rechnung nach X_a, so ergiebt sich für

$$\Sigma\,[(l_p - l_q)\,(\log S_p - \log S_q)] = 32{,}764$$

$$\text{also für } X_{r\alpha} = \frac{32{,}7644}{10363{,}6} = 0{,}003163$$

$$\text{und für } X_{r\beta} = 0{,}0031681.$$

Wird wieder rückwärts $l_p - l_q$ berechnet nach Formel $l_p - l_q = \frac{\log S_p - \log S_q}{X_{r\alpha}}$, um die berechneten mit den gegebenen $l_p - l_q$ zu vergleichen, so erhält man:

Tabelle 95.

Combinationen der Werte der Tabelle	$l_p - l_q$ gegeben	$l_p - l_q$ berechnet	Differenzen (Fehler)	Fehlerquadrate
a und b	20,00	23,652	3,652	13,437
a und c	79,87	80,915	1,045	1,092
b und c	59,87	57,264	2,606	6,791
		Summen:	7,303	21,320

Nach $X_{r\beta}$ wäre die Fehlersumme 8,203, die Summe der Fehlerquadrate 21,182. Nach X_a berechnet ist die Summe der Fehlerquadrate bloss 3,0675 (resp. 3,0671), also 7mal weniger als nach X_r. Demnach ist auch hier wieder X_a bedeutend im Vorteil gegenüber X_r.

Schliesslich sei noch bemerkt, dass die Rechnung nach X_a, nach meinem abgekürzten Verfahren Nro. 2, das zudem noch nicht das beste unter den einfachen Berechnungsweisen ist, zu einem Wert von X_a führt, welcher von der nach dem Fechner'schen Verfahren gewonnenen Zahl nicht sehr weit abweicht. Nimmt

man aus Tabelle 93 $\frac{8{,}498 - 7{,}154}{30{,}17 - 10{,}17}$, ferner $\frac{12{,}893 - 7{,}154}{90{,}04 - 10{,}17}$ und $\frac{12{,}893 - 8{,}498}{90{,}04 - 30{,}17}$, so erhält man 0,0672, 0,0718 und 0,0734, im Mittel 0,0708 (gegen 0,072209 nach Fechner).

Die nach $X_a = 0{,}0708$ berechneten $l_p - l_q$ geben die in nachfolgender Tabelle enthaltenen Zahlen.

Tabelle 96.

Combinationen	$l_p - l_q$ gegeben	$l_p - l_q$ berechnet	Differenzen (Fehler)	Quadrate der Differenzen
a und b	20,00	18,983	1,017	1,034
a und c	79,87	81,059	1,189	1,413
b und c	59,87	62,076	2,206	4,866
			Summe: 4,412	7,313

Die Summenwerte der Fehler und Fehlerquadrate sind also bloss um etwa das Doppelte grösser als die der Tabelle 94.

Endlich bleibt noch zu untersuchen — und zwar auf anderem Weg, als dem im vorigen § eingeschlagenen — wie sich die in letzterem § erörterten Constanten verhalten; wir hätten somit die Resultate beider §§ in Vergleich, resp. in Einklang zu bringen.

Unsere Haupttabelle 93 giebt folgende Endwerte:

	a	b	c
Querschnitt der Luftmassen in QCm	10,17	30,17	90,4
Schallschwächungen	7,154	8,498	12,893 (A)

Sämtliche Versuche dieses § wurden an Luftmassen von 91,7 Cm Länge angestellt; nach Tabelle 92 entspricht dieser Länge eine Schallschwächung von 2,997 s. Dieser Wert ist also von den Schallschwächungen der A-Reihe abzuziehen; es bleiben somit übrig:

	a	b	c
Schallschwächungen	4,157	5,501	8,896 (B)

Die Erfahrungen über die Schalleitung im Wasser führten auf das Vorhandensein einer zweiten Schallschwächung, die in Wasser desselben Querschnittes constant ist, in Wasserschichten verschiedenen Querschnittes aber den letzteren proportional sich verhält. Prüfen wir diese Annahme für unsern gegenwärtigen Versuch, so hätten wir, wenn X die Schallschwächung durch die Querschnittseinheit (1 QCm), $4{,}157 - 10{,}17\,x = 5{,}501 - 30{,}17\,x$, nebst

zwei weiteren Gleichungen. Aus letzteren ergeben sich folgende X-Werte:

aus a und b = 0,0672
a und c = 0,0718
b und c = 0,0734
Mittel 0,0708.

Auf anderem Wege wurde oben für $X_{a\alpha} = 0{,}072209$ gefunden.

Also ist von den Schallwerten der Horizontalreihe B weiter abzuziehen $0{,}0708 \times 10{,}17 = 0{,}720$, $0{,}708 \times 30{,}17 = 2{,}136$ und $0{,}0708 \times 90{,}04 = 6{,}375$. Man hat dann

a	b	c	
3,437	3,365	3,521	(C)

Die unter sich wenig abweichenden Zahlen der C-Reihe (mit dem Mittelwerte 3,441) entsprechen offenbar der Summe jener constanten Schallstärke, die durch die Leitung im Ohr verschwindet und von der nach der Abschwächung bis in das Labyrinth ein bestimmter Rest zur Herstellung der Empfindungsschwelle verwendet wird. Diese C-Werte müssen etwas kleiner ausfallen, als das direkt gefundene S (= 5,055 resp. 4,9903) des vorigen §, was selbstverständlich ist, da in letzterer Grösse die erwähnten beiden Uebergangswiderstände noch enthalten sind.

Bringt man statt der Zahlen der Reihe C die direkt aus den Versuchen berechneten Schallschwächungen (durch die verschiedenen Querschnitte) in Rechnung, indem der oben direkt gefundene Schwächungscoëfficient für 1 QCm Querschnitt (= 0,072209) eingeführt wird, so entstehen die Zahlen

$0{,}072209 \times 10{,}17 = 0{,}734$
» $\times 30{,}17 = 2{,}179$
» $\times 90{,}04 = 6{,}502$.

Also hat man bei Abzug dieser Produkte von den Zahlen der Horizontalreihe B:

a	b	c	
3,423	3,322	3,394	= Reihe C_1.

Diese C_1-Werte (Mittel 3,379) differieren noch weniger, als die Zahlen der Reihe C.

Diese zwei Uebergangswiderstände — ihre Summe wäre also = 1,549, resp. (aus C_1) 1,614 s — direkt auf experimentellem Wege zu bestimmen wird sicherlich noch möglich sein, wenn das Problem auch zu den delikatesten in der gesamten Phonometrie gehören mag. Zahlreich wiederholte Versuche werden aber zum sichern Ziele führen.

§ 56. Die Schwächung des Schalles bei dessen Fortpflanzung in einem grösseren Zimmer.

Das Zimmer, in welchem ich experimentierte, das Demonstrationslokal des physiologischen Institutes, ist 10 M lang, 5,4 M breit und 4,8 M hoch. In der Mitte der Decke befindet sich ein sehr grosses Fenster mit Oberlicht, das 6,3 M vom Fussboden absteht. Abgesehen von den zu den Versuchen erforderlichen Vorrichtungen war das Zimmer vollkommen leer. Die Schallquelle, der in den vorhergehenden §§ gebrauchte kleine Elfenbeinrecipient, war keine (wie bei solchen Versuchen innerhalb mässiger Abstände zu fordern wäre) möglichst kleine, um nicht zu sagen punktförmige. Sie befand sich ausserdem, wie auch mein Ohr, da ich in sitzender Stellung experimentierte, bloss $1^1/_4$ M über dem Fussboden.

Die unvermeidlichen Einflüsse oder Reflexe von den nackten Wänden des Zimmers konnten also weder beseitigt, noch irgendwie in Rechnung gebracht werden; gleichwohl glaube ich, dass die Ergebnisse der Versuche, wenn sie auch zum Teil unter ganz speciellen, nicht weiter analysierbaren Bedingungen angestellt wurden, eben um ihres Gegenstandes willen, auf eine mehr als bloss casuistische Bedeutung Anspruch machen können. Beim Verhängen der Wände mit Tüchern und der Belegung des Bodens und der Zimmerdecke mit Teppichen würden schädliche Reflexe wohl noch besser zu vermeiden gewesen sein. Uebrigens scheinen mir die Versuchsergebnisse sehr wahrscheinlich zu machen, dass wenigstens innerhalb der geringeren Abstände des Ohres von der Schallquelle — den sehr geringen, mit den übrigen gar nicht vergleichbaren, von 2 Cm ausgeschlossen — also bis gegen 50 Cm Abstand, die Reflexe keine erhebliche Störung, wenigstens bei den von mir geprüften schwachen Schallen, herbeiführen. Bei dem grössten Abstand (circa 5 Meter), resp. den nunmehr erforderlichen stärkeren Schallen, machen sich aber die Reflexe, wie die Versuchsergebnisse zeigen, in eingreifender Weise geltend; ich habe dann eine Schwellenempfindung bei verhältnismässig geringen Schallstärken, was durch die Wirkung zahlloser Schallzurückwerfungen bedingt sein muss.

Ganz eigentümlich verhält sich der Empfindungsinhalt der Schwelle bei den gegebenen Versuchsbedingungen. Während beim Hören dieser Schalle durch abgeschlossene Luftsäulen (§ 54 und

55) momentane Empfindungen von keinem eigentlichen Toncharakter entstanden, die zudem auf eine bestimmte Richtung bezogen wurden, hatte ich hier die Empfindung eines extrem schwachen Tones, der weder nach Richtung noch nach Entfernung irgendwie lokalisiert werden konnte und ausserdem nicht von bloss augenblicklicher Dauer war. Sollte letztere Eigenschaft von zahlreichen nach einander sich geltend machenden Reflexen abhängen?

Die Abstände meines Ohres von der Schallquelle waren dieselben, welche in den mit den verschieden langen Röhren angestellten Versuchen benützt wurden. Das Fallgewicht in sämtlichen Versuchen war 36,5 Mg schwer, nur bei Abstand 2 Cm betrug es (s. Tab. 89) bloss 2,2 Mg. Ich habe die Endresultate dieser Versuche bereits in der Zeitschrift für Biologie Bd. XVIII, 1882, pag. 383 ff. mitgeteilt; die nachträgliche Prüfung des Exponenten ε der Fallhöhe führte mich jedoch zum ε-Wert für 2,2 Mg von 0,57, und für 36,5 Mg von 0,69, statt des früher angenommenen 0,59. In der nachfolgenden Tabelle setze ich ausser den älteren, weniger richtigen, die neu umgerechneten Zahlen, wobei ich mich in jeder Rubrik bloss auf die Endwerte aus den 8 Versuchstagen beschränke.

Tabelle 97.

Schwächung des Schalles bei dessen freier Fortpflanzung in einem grösseren Zimmer (S-Werte).

Abstände des Ohres von der Schallquelle in Cm a	Fallgewicht in Mg b	Fallhöhe in Mm c	Schallstärke d	Schallstärke nach älterer Rechnung e	$\frac{d}{a}$
2,0	2,2	4,1	4,91	(5,05)	—
22,9 = 1	36,5	1,8	54,76	(51,74)	2,3
45,8 = 2	»	4,2	98,22	(85,77)	2,1
91,7 = 4	»	7,6	148,0	(120,88)	1,6
137,5 = 6	»	9,2	168,9	(134,66)	0,98
502,0 = 22	»	15,6	243,0	(183,98)	0,5

Man sieht aus voranstehender Tabelle auf den ersten Blick, dass unter diesen Versuchsbedingungen, welche freilich, dem oben Bemerkten zufolge, wenigstens bei den etwas grösseren Abständen, von neu hinzutretenden störenden Nebeneinflüssen abhängen, die Schallstärken sich unmöglich verhalten können wie die von der herrschenden Theorie geforderten verkehrten Quadrate der Abstände von der Schallquelle. Dass die Berechnung der Schallschwächung bei dessen Fortpflanzung in einem abgeschlossenen Zimmer nicht streng durchgeführt werden kann, ist — weil eben

die Bedingungen bei der Fortpflanzung mit zunehmendem Abstand sich ändern und überhaupt unanalysierbar sind — leicht ersichtlich. Immerhin aber kann als durchgreifende Norm aufgestellt werden, dass die Schwächung des Schalles viel geringer ist, als in freier Luft, wie ja auch die gewöhnliche Erfahrung uns lehrt, und dass nur innerhalb geringer Abstände von der Schallquelle (etwa bis $^1/_2$ Meter) die Schallschwächung den Abständen annähernd proportional ist.

Zu den nachfolgenden Versuchen benützte ich ein Schallpendel von den Dimensionen des § 21 beschriebenen Apparates (Modell III, Fig. 9), nur viel leichter gebaut, das aber aus zwei Pendelarmen bestand, einem langen, dessen Ende den aus einem Elfenbeinstäbchen gefertigten Pendelhammer trug, und einem kurzen, an welchem eine kleine Messingkugel (K) verschiebbar angeschraubt war. Durch letztere konnten beide Pendelarme nahezu ins Gleichgewicht gebracht werden, so dass der Hammer nur sehr schwache Schalle erzeugte, deren Stärke ausserdem noch durch ein auf die Aufschlagstelle des Hammers geleimtes, dünnes Lederplättchen geschwächt wurde. Schallquelle war ein kleines Holzplättchen, das durch den Hammer erschüttert wurde. Bei Elevationen des Schallpendels um nur wenige Grade entstanden Schalle, die nur dem in der Nähe befindlichen Ohr noch merklich waren. Die nachfolgende Tabelle giebt die relativen Schallstärken (sowie die entsprechenden Pendelelevationen), bei welchen das Schallpendel eben noch merkliche Hörempfindungen bei den angemerkten Abständen des Ohres von der Schallquelle auslöste. Die Schallstärke ist berechnet nach der Formel (§ 23) Num (0,61 log sin x), wobei x den Elevationswinkel des horizontal gehaltenen) Schallpendels bezeichnet. Im Ganzen wurden je 6 Versuche für jeden Ohrabstand angestellt, die sich auf zwei Versuchstage verteilten.

Tabelle 98.

Schallstärken eines Schallpendels, welche Schallempfindungen auslösen.

Abstand der Schallquelle vom Ohr in Cm	Elevationen des Schallpendels, welche Schwellenempfindungen hervorriefen		Mittlere Schallstärke in Verhältniszahlen
	Mittel	Grenzen	
25	$2^0\ 37'$	2^0—$3^1/_2{}^0$	1914
50	$4^0\ 18'$	$3^1/_2{}^0$—6^0	2589
75	$5^0\ 48'$	$5^1/_2{}^0$—$6^1/_2{}^0$	3108
100	$8^0\ 24'$	7^0—$9^1/_2{}^0$	3894

Die Schallstärken bestehen aus einer Constanten (der Hauptsache nach durch die constante Schwächung des Schalles bei seiner Fortleitung im Gehörorgan bedingt) und einer Variabelen, welche den Abständen der Schallquelle einfach proportional ist. Die Constante kann sich offenbar nur bei sehr schwachen Schallen bemerklich machen.

Die 4 Schallstärkewerte lassen für die 4 Abstände 1 — 2 — 3 und 4 die nachfolgenden Combinationen zu:

	Abstand	Differenz für Abstand 1
675	1	675
1194	2	597
1980	3	660
519	1	519
1305	2	652
786	1	786

Auch aus diesen Versuchen geht das scheinbar paradoxe Resultat hervor, dass sehr schwache Schalle in einem grösseren Zimmer so abgeschwächt werden, dass ihre Intensitätsverluste den einfachen linearen Abständen von der Schallquelle proportional sind.

§ 57. Die Schwächung des Schalles in der freien Luft.

Dass die Schallstärke beim Hören aus der Luft im Verhältnis des Quadrates der Entfernung von der Schallquelle abnimmt, hat von jeher als unbezweifeltes Dogma der physikalischen und physiologischen Akustik und als ein notwendiges Postulat der Grundprincipien der Mechanik gegolten. Die Lehrbücher der Physik erwähnen freilich nichts von Experimenten, die in dieser Richtung angestellt wurden; bloss in Radau's »Lehre vom Schall« München 1869, S. 79, sind Beobachtungen von Delaroche und Dunal angeführt, welche, mittelst einer, offenbar nicht glücklich gewählten, Versuchstechnik, von 5 ganz gleichen Uhrglocken die eine an einem Endpunkt einer gemessenen Standlinie, die vier andern am entgegengesetzten Ende aufstellten. Nun wurde der Punkt bestimmt, wo der Ton der einen Glocke eben so laut erschien, als der der vier andern zusammengenommen. Es fand sich, dass dieses der Fall war, wenn der Beobachter ihn aus einer zweimal so grossen Distanz hörte, als den Ton der einzelnen

Glocke. Die Versuche wurden auf ein einziges Distanzenpaar beschränkt. Das sind, soviel mir bekannt, bis jetzt die einzigen Experimente, die über diese Frage angestellt worden sind.

Ehe wir zu den speciellen Versuchen übergehen, welche das wahre Gesetz der Schallschwächung erkennen lassen, möchte ich auf einen ohne Zeitaufwand und leicht anzustellenden Versuch aufmerksam machen, um darüber zu entscheiden, ob die Schallstärke faktisch abnehmen kann proportional dem Quadrat des Abstandes von der Schallquelle. Die Antwort auf die gestellte Frage wird so eklatant und unzweideutig wie möglich sein.

Man benütze zwei differente Schalle von starkem, etwa vierfachem, Unterschiede. Man lasse z. B. dieselbe Fallkugel, am besten von einigen Grammen Gewicht, das eine Mal durch einen Raum von 6 Cm, das andere Mal durch 0,57 Cm auf eine kleine vibrationsfähige Platte fallen. Das Ohr sei 1 oder $1^1/_2$ Meter entfernt. Der Versuch wird am besten im Freien angestellt.

6 Cm Fallhöhe entsprechen nach der Formel $h^{0,59}$ (um diesen häufig vorkommenden Exponenten zu Grund zu legen) einer relativen Schallstärke von 11,19; dagegen 0,57 Cm einer Schallstärke von 2,79. Hat man diese, objektiv um's Vierfache differierende, Schallstärken einige Mal gehört (der Ungeübte wird staunen, wie gross der Empfindungsunterschied ist), so experimentiere man mit demselben Gewicht und mit derselben Fallhöhe (6 Cm) beim Abstand 1 (resp. $1^1/_2$) Meter und gleich darauf beim Abstand 2 (resp. 3) Meter. Die beiden Empfindungen entsprechen dann sehr viel geringeren Unterschieden, als bei dem vorhergehenden Versuche vorhanden waren und als die übliche Theorie annehmen müsste, und selbst der ganz Ungeübte muss merken, dass die Schallstärke beim doppelten, dreifachen etc. Abstand bei weitem nicht vier-, resp. neunmal schwächer sein kann, als beim einfachen Abstand.

Zum Experimentieren über die Schwächung des Schalles bei dessen Fortleitung in der Luft müssen selbstverständlich grosse Abstände des Ohres von der Schallquelle und geeignete Oertlichkeiten, vor Allem ein möglichst ebenes freies Feld, ausgewählt werden.

Die zunächst mitzuteilenden Versuche (Tab. 99) stellte ich mit Hilfe des § 22 erwähnten Schallpendels II an, welches ein kleines wagrecht liegendes Elfenbeinplättchen in Erschütterung versetzte. Das Hämmerchen des Pendels war an seiner Aufschlagstelle, um den Schall abzuschwächen, mit einer Lage von sehr dünnem Leder überzogen.

Da nach § 23 die Schallstärken der 0,61 Potenz der Sinus des Elevationswinkels des Schallpendels proportional sind, so ist die relative Schallstärke an dem Apparat = Num (0,61 log sin x), wenn der Elevationswinkel = x gesetzt wird.

Bei den nachfolgenden Versuchen wurde mein Ohr zunächst in denjenigen Abstand von der Schallquelle (Elfenbeinplättchen) gebracht, bei welchem ich bei einer Elevation des Schallpendels um nur wenige Grade die Schwellenempfindung hatte. Dies war z. B. bei einem Abstand von 13,74 Meter der Fall. Die Schwellenempfindung trat dann bei einem Elevationswinkel von ungefähr 5^0 ein; bei den einzelnen Versuchen desselben oder verschiedener Tage änderte sich der Elevationswinkel — um (bei dem genannten Abstand des Ohres von der Schallquelle) die Schwellenempfindung zu erzielen — nur sehr wenig.

Bei den Versuchen wurden für das Ohr vier Abstände von der Schallquelle abgesteckt, die sich wie 1 : 2 : 3 : 4 verhielten, also 13,74 — 27,48 — 41,22 — 54,96 betrugen. — Die beiden nachfolgenden Versuchsreihen wurden am 20. und 22. Mai 1882 an zwei verschiedenen Lokalitäten eines freien und störenden Geräuschen möglichst wenig ausgesetzten Feldes bei leidlicher Windstille (auf der Waldhäuser Höhe bei Tübingen) angestellt. Die in relativen Werten ausgedrückten Schallstärken waren eben noch im Stande, bei den entsprechenden Abständen vom Ohr eine Schwellenempfindung auszulösen.

Tabelle 99.

Abstand des Ohres von der Schallquelle in Metern	Elevationswinkel des Schallpendels in Graden	Relative Schallstärke zur Herstellung der Schwellenempfindung	C-Werte dividiert durch die Relativwerte (1, 2 u. s. w) von a	Abweichung der d-Werte vom Mittel	
a	b	c	d	e	
13,74 = 1	$4^3/_4$	27542	27 542	+ 262	Erster Versuchstag
27,48 = 2	$13^1/_2$	51818	25 909	— 1370	
41,22 = 3	$31^1/_2$	84720	28 240	+ 961	
54,96 = 4	53	109700	27 425	+ 146	
			Mittel: 27 279		
13,74 = 1	$5^1/_2$	30110	30110	+ 2376	Zweiter Versuchstag
27,48 = 2	$11^3/_4$	47630	23815	— 3919	
41,22 = 3	33	86890	28963	+ 1129	
54,96 = 4	56	112200	28050	+ 316	
			Mittel: 27734		

In meiner ersten Publikation dieser Versuche (Zeitschrift für Biologie 1882) habe ich mit unrichtigen Exponenten ε gerechnet, die zu viel weniger befriedigenden Ergebnissen führen konnten.

Um die Schallschwächung bei sehr grossen Entfernungen zu prüfen, sind natürlich Schallpendel anzuwenden, die sehr starke Schalle erzeugen. Die nachfolgenden Versuche wurden mit dem § 22 erwähnten grossen Schallpendel (Modell IV) angestellt. Da die Pendellänge bei diesem Schallpendel 2½mal und der statische Druck des Hammers auf die Unterlage 3,8mal grösser ist, als bei den Versuchen der Tabelle 99, so ergeben die grösseren Fallräume und das stärkere Pendelgewicht ungleich stärkere Schalle, die auf weite Entfernungen gehört werden. Gleichwohl können die Schallstärken beider Apparate nicht direkt mit einander verglichen werden, schon deshalb nicht, weil bei dem oben erwähnten Apparat die Aufschlagstelle aus einem kleinen Elfenbeinplättchen bestand, dessen Schwingungsfähigkeit von der des Eichenholzes abweicht. Für die blosse Constatierung des Gesetzes ist aber die Kenntnis der absoluten Schallstärken nicht erforderlich; wir vergleichen immer nur die Schallstärken desselben Pendels bei verschiedenen Elevationswinkeln unter sich, also wiederum relative Werte, die für unsere Zwecke vollständig genügen.

Die Versuche stellte ich am 22. Juni 1882 an, dem ersten windstillen Tage seit einigen Wochen; es wurde die Abendzeit von 8—9½ Uhr gewählt. Als Versuchsfeld diente, um von etwaigen örtlichen Einflüssen unabhängig zu sein, eine neue (also dritte) Lokalität, eine grosse ebene Fläche, einerseits zwischen dem kleinen Weiler Waldhausen, von dem die Schallquelle genügend weit abstand, um störende Reflexe befürchten zu müssen, und dem Tübinger Stadtwald andererseits, dessen hohe und dicht zusammenstehende Bäume sehr weit entfernt waren. Zwei niedere Alleen waren nach rechts und links ebenfalls weit von der geraden Versuchslinie entfernt, so dass an störende Reflexe nicht zu denken war.

Ein absolut geräuschloses grosses Versuchsfeld würde phonometrische Messungen auf enorme Abstände zulassen, die mit derselben Genauigkeit ausführbar wären, wie in der Ruhe des Laboratoriums sehr schwache Schalle aus allernächster Nähe gemessen werden können.

Zunächst wurden vier grosse Abstände ausgesteckt, welche 54,96 — 109,92 — 164,88 und 219,84 Meter betrugen. In viermaligem Wechsel wurde von Nah auf Fern und umgekehrt übergegangen.

Die Messungsresultate waren im Endmittel (die Elevationswinkel des Schallpendels sind bloss auf halbe Grade angegeben) folgende:

Tabelle 100.

Abstände des Ohrs von der Schallquelle in Metern a	Elevationswinkel des Schallpendels b	Relative Schallstärken zur Herstellung der Schwellenempfindung c	C-Werte revidiert durch die Relativwerte a d	Abweichungen der d-Werte vom Mittel e
54,96 = 1	5^0	28405	28405	+ 804
109,92 = 2	$12^1/_2$	49473	24736	— 2865
164,88 = 3	$29^1/_2$	80883	26961	— 640
219,84 = 4	70	121210	30302	+ 2701
			Mittel: 27601	

Die nachfolgenden Versuche wurden in dem Garten des physiologischen Institutes in zwei Vormittagsstunden bei schönem Wetter und nur geringer und variabeler Südwestströmung angestellt. Das Versuchsterrain ist 20 Meter von einer nur mannshohen Mauer und ebensoweit von dem hohen Gebäude des physiologischen Institutes entfernt. Erhebliche Störungen durch die von den Bäumen und Sträuchern des Gartens verursachten Reflexe fanden wohl nicht statt. Vogelgesang und diffuser Tageslärm wirkten bei der Bestimmung der Hörschwellenwerte etwas hindernd. Als Schallquelle diente der § 48 beschriebene Elfenbeinrecipient von 30 Mm Durchmesser, auf dessen ebenen Boden die Fallkügelchen von Blei (von $17^1/_2$ bis 74 Mg Gewicht) herabfielen. Die Schallstärken, welche bei den angemerkten Abständen des Ohrs von der Schallquelle jeweils einen eben noch merklichen Gehöreindruck machten, sind in der vierten vertikalen Reihe der Tab. 102 angegeben. Der Exponent ε wurde für Fallkugel $17^1/_2$ Mg zu 0,64, für die zwei schwereren Kugeln zu 0,69 experimentell bestimmt (s. die nachfolgende Tabelle).

Tabelle 101.

Bestimmung der Werte des Exponenten ε am Elfenbeinrecipienten, bei Anwendung von Bleikugeln.

Schwerere Kugel P		Leichtere Kugel p		$\frac{P}{p}$	$\frac{H}{h}$	ε
Gewicht P in Mg	Fallhöhe h in Mm	Gewicht p in Mg	Fallhöhe H in Mm			
8,55	12,0	4,25	40,9	2,01	3,408	0,569
25,95	6,0	12,6	18,5	2,059	3,08	0,642
56,0	6,0	25,95	18,16	2,158	3,027	0,694
295,0	12,0	141,0	35,2	2,092	2,93	0,686
888,0	12,0	441,0	34,6	2,016	2,888	0,661

Die Fallhöhen H sind die Endmittel aus 5, an verschiedenen Tagen angestellten, Versuchen; so ist z. B. das Endmittel 18,16 H für das Gewichtspaar 56 und 25,95 Mg berechnet aus den beobachteten Einzelwerten 16,0 — 19,4 — 19,8 — 17,7 — 18,2 Mm.

Ich bemerke noch, dass die ε-Werte sich nicht änderten, als die Schallquelle (Elfenbeinrecipient) in Wasser eingetaucht und die Schalle aus dem Wasser mittelst eines hölzernen Conductors dem Ohr zugeleitet wurden. Nur das Timbre war durchaus verändert; durch Anschlagen von Bleikügelchen auf Elfenbein erhält man scharfe, mit starken Obertönen verbundene, hohe Schalle beim Hören aus der Luft, während die Schalle tiefer und dumpfer werden beim Hören aus Wasser (vermittelst des hölzernen Conductors).

Tabelle 102.

Abstand des Ohrs von der Schallquelle in Cm	Gewicht der Fallkugel in Mg	Fallhöhe in Mm	Schallstärke	Differenzen der Schallstärken
22,9 = 1	17,5	10	67,47	—
45,8 = 2	36,5	10	178,85	113,38
68,7 = 3	36,5	20	288,35	109,56
91,7 = 4	36,5	31	390,55	102,20
114,5 = 5	74,0	12,2	415,14	24,59
137,5 = 6	74,0	16	500,98	95,84

Mit Ausnahme der bei 114 Cm beobachteten Schallstärke stimmen die übrigen Werte befriedigend mit unserem allgemeinen Gesetz überein.

In den obigen Versuchen kommt nur der Abstand des Ohrs von der Schallquelle in Betracht, indem die übrigen Widerstandsursachen (Uebergang der Schwingungen von der Schallquelle in die Luft und von da ins Ohr, samt den Leitungswiderständen des Schalles im Ohr bis in das Labyrinth) ausserordentlich klein sind. Man kann diese Widerstandsursachen nur dann messen, wenn man mit höchst schwachen, objektiven Schallen experimentiert.

In nachfolgender Tabelle teile ich noch eine weitere Versuchsreihe mit, welche die Schallstärken wiederum in absoluten Werten angiebt, sich aber von den übrigen Versuchsreihen dadurch principiell unterscheidet, dass die Hörempfindungen nicht auf den Schwellenwert herabgedrückt wurden, indem es sich um verhältnismässig starke Empfindungen handelte.

Die Versuche wurden im Hof des physiologischen Institutes

angestellt, die Versuchslinie war bloss 5 Schritte von der mit ihr parallelen Hinterseite des Hauses entfernt. Als Fallkörper dienten zwei Bleikugeln von 17,505 und 17,855 G Gewicht; Schallquellen waren zwei runde Zinnscheiben von fast 4 Cm Durchmesser und 42 G Gewicht, welche auf kleinen hölzernen Sesseln (ohne Lehnen) lagen. Jeder Sessel stand auf einem besonderen Tisch, so dass die Schallquelle vom Boden ebensoviel, als mein Ohr senkrecht abstand. Die eine dieser Schallquellen war bei allen Versuchen 2,29 M von meinem Ohr entfernt, die Fallkugel (17,505 G) fiel immer durch einen Raum von 7,9 Mm. Die absolute Schallstärke war somit $17\,505 \times 3{,}385 = 59\,241$, ausgedrückt in Schallstärkeeinheiten der angewendeten Schallquelle, was auch bei dem Abstand von 2,29 M einen ziemlich starken Schall ergiebt. Bringe ich mein Ohr dicht an die Schallquelle (Zinnplatte), so erhalte ich beim Herabfallen eines Bleikügelchens von 5,1 Mg Gewicht durch einen Raum von 18 Mm eine eben noch merkliche Empfindung; demnach ist der Wert der Schwelle, für eine Entfernung = 0 unserer Schallquelle vom Ohr, = 28,06. Die zweite Schallquelle wurde der Reihe nach in immer grössere Abstände vom Ohr gebracht, die sich zum constanten Abstand 2,29 Meter = 1 wie die Zahlen der einfachen Zahlenreihe verhielten.

Nach dem Hören des Schalles der constanten Schallquelle (59241) wurde die Intensität der Schallquelle grösserer Entfernung so lange abgeändert, bis beide Schalle, der nahe und der ferne, meinem Ohr gleich stark erschienen. Die Abänderungen geschehen rasch durch kleine Veränderungen der Höhe der Fallräume der Bleikugel. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle enthalten.

Zur Herstellung gleicher Empfindungsstärken bei verschiedenen Abständen des Ohres von der Schallquelle sind erforderlich die nachfolgenden objektiven Schallstärken:

Tabelle 103.

Abstände des Ohrs von der Schallquelle in Metern	Objektive Schallstärke	Differenzen
2,29 = 1	59241	—
4,58 = 2	84001	24760
6,87 = 3	107008	23007
9,16 = 4	129660	22652
11,45 = 5	149800	20140
13,74 = 6	167610	17810
16,03 = 7	191555	23945
18,32 = 8	207303	15748
20,61 = 9	224085	16782
22,90 = 10	236560	12475

Also auch hier wieder dieselben Resultate, wie bei den Schwellenversuchen, d. h. entfernt man sich von der Schallquelle jeweils um gleichviel, so wird auch die Schallstärke um gleichviel abgemindert. Da die ursprünglichen Schallstärken bedeutend sind, müssen die Differenzen in der obigen Tabelle relativ grosse absolute Werte zeigen. Die Abweichungen obiger Differenzwerte unter sich können gar nicht in Betracht kommen, wenn es sich um die Beurteilung der Allgemeingültigkeit des Gesetzes handelt.

Man sieht aus obigen Erfahrungen, dass die Schallstärke unmöglich abnehmen kann im Verhältnis des Quadrats des Abstandes von der Schallquelle, wie die, übrigens durch keine positiven Versuche gestützte, rein abstrakte Theorie fordert und fordern muss. Der Versuch dagegen führt zu dem scheinbar durchaus paradoxen und vorerst unbegreiflichen Resultat, dass die Schallstärke in der freien Luft abnimmt im einfachen Verhältnis der Entfernungen von der Schallquelle.

Dem Einwand, dass — was ich ebenfalls recht wohl weiss — diese meine Aufstellung mit den Gesetzen der Physik und insbesondere mit Allem, was man von der Fortpflanzung der Kugelwellen bisher annehmen musste, absolut unverträglich seien, müsste ich entgegenhalten, dass ich mich nicht auf theoretische Gründe stütze, sondern nur, und ausschliesslich nur, auf experimentell gewonnene Thatsachen, die nicht einfach abgeleugnet werden können. Ist doch auch meine nur auf Versuche begründete Behauptung, dass das übliche Mass der Schallstärke falsch sei, in vollem Widerspruch mit der als zweifellos geltenden Theorie gewesen. Der Widerspruch wird sich seiner Zeit lösen lassen, wenn die von mir gefundenen Thatsachen vorerst auch unerklärlich, ja unmöglich, erscheinen.

V. Schalleitung durch Teile des menschlichen Organismus.

§ 58. Die bisherigen Erfahrungen über die Schalleitung durch die Körperteile zum Ohr.

Die Geräusche und Klänge, welche in unserem Körper entstehen, oder demselben von aussen mitgeteilt werden, können das

Felsenbein erreichen und durch Erschütterungen des Labyrinths Hörempfindungen veranlassen. Diese Form der Schalleitung erfordert eine gesonderte Betrachtung, um so mehr, als sie, wie wir in § 59 sehen werden, in ganz unersetzbarer Weise zur Messung der Intensität der auscultatorischen Zeichen benützt werden kann.

Die Thatsache, dass wir bei verstopften Ohren Schalle aus der Luft nicht oder, entsprechende Stärke derselben vorausgesetzt, nur sehr schwach hören, während wir unsere eigene Stimme stark, aber mit anderem Timbre, vernehmen, musste von jeher bekannt sein und bald zu der Erwägung führen, dass auch die Teile unseres eigenen Körpers dem innern Ohr Schalle zuführen können. Die meisten der über die Schalleitungsfähigkeit unserer eigenen Körperteile bekannten Thatsachen beziehen sich aber auf Töne und Schalle, die von starren, mit der Körperoberfläche in Berührung gebrachten, schwingenden Körpern erregt wurden. Dass die Schallwellen aus tropfbar flüssigen, noch mehr aber aus starren Medien auf den Körper viel leichter übergehen, als diejenigen der Luft, musste ebenfalls schon längst bekannt sein. Kircher erwähnt zuerst die Leichtigkeit, mit der die Schallbewegungen fester Körper auf die Teile des Kopfes übergehen; auch Boerhaave spricht davon. Zu den Versuchen dienten namentlich Stimmgabeln oder (Perolle u. A.) Taschenuhren. Perolle äussert sich: »fast jeder Teil des Kopfes pflanzt den Schall fort, wenn ihn der schallende starre Körper unmittelbar berührt. Die Zähne, besonders die Schneidezähne, nehmen den Schall am besten auf, dann folgt Stirnbein, Hinterhauptsbein, Schläfenbein, viel weniger leiten die Nasenbeine, der Unterkiefer und die Lippen. Auch die Halswirbelsäule leitet bis zum 4. und 5. Wirbel herab noch ziemlich gut, weiter abwärts, sowie durch die Seitenteile des Halses, ist die Leitung gering. Der Gaumen, nicht aber die Spitze und die Unterseite der Zunge, leiten noch.« — In Perolle's Versuchen, die übrigens zu keinen Zahlenwerten führten, wurde immer das Ticktack der Taschenuhr benützt.

Winkler (de ratione audiendi per dentes. Lips. 1759) hörte durch die obern und untern Zähne gleich gut, durch die Zähne besser, als wenn der Stab an das äussere Ohr gedrückt wurde.

Nach Herhold, der ausschliesslich das Ticktack der Taschenuhr benützte, ist die Leitung durch die Unterzähne schwächer, als durch die Oberzähne; sie ist nicht vorhanden in wackelnden Zähnen. Am Hals wird die Leitung immer schwächer, je tiefer man

herabgeht. Wird die Taschenuhr gegen eine weiche Balggeschwulst des Kopfes gehalten, so wird nichts gehört.

Auch die Hand und die Finger leiten. Köllner (Reil's Archiv f. Physiol. 1800. IV. 105) nahm eine Uhr in die Hand, während ein Finger derselben Hand den Gehörgang verstopfte. Der Schall legt hier den kurzen Weg von der Hand durch den Finger zum äusseren Gehörgang zurück. Man hört dann das Ticktack. Ungeheure Impressionen entstehen während des Trepanierens; kein äusserer Schall kann solche Erschütterungen im Felsenbein hervorrufen, als die sägenden Bewegungen der Trepankrone. Das abscheuliche Geräusch bei der Ausziehung eines Oberzahns ist wohl bekannt.

Bezeichnend für die damlige Zeit ist, dass Köllner (Reil's Archiv 1797. II. 18) beim Hören durch die Zähne viel weniger die naheliegenden physikalischen Bedingungen betont, sondern die Anastomosen des N. subcutaneus malae, der die mit ihm anastomosierenden Facialiszweige errege, welche ihrerseits den Acusticus in Thätigkeit versetzen würden. Gegen diese Nerventheorie polemisiert u. A. Herhold.

Später wurde durch Aufsetzen schwingender Stimmgabeln auf verschiedene Teile des Kopfes (bei verstopften Ohren) die Schallleitung untersucht. Nach Joh. Müller wird der Stimmgabelton am schwächsten auf dem Scheitel, stärker auf der Schläfe, überhaupt um so stärker, je näher an das Ohr die Gabel aufgesetzt wird, gehört. Bei der Umständlichkeit, ja Unmöglichkeit, Stimmgabeltöne von bestimmter und gar constanter Stärke hervorzubringen, ist diese Versuchsweise nicht zu empfehlen. Bei unsern rein praktischen Zwecken kann ich vollständig absehen von der im letzten Jahrzehnt (von Lucae, Politzer, Mach u. A.) viel diskutierten Frage, ob die Schalleitung durch die Kopfknochen unmittelbar zum Labyrinth, oder durch die Kopfknochen zum Trommelfell und die Kette der Gehörknöchelchen auf gewöhnlichem Wege zum innern Ohr besorgt werde.

Wir haben es hier, unbekümmert um die speciellen Leitungswege, bloss mit der Stärke der Schallschwächung zu thun, welche die den verschiedenen Körperteilen zugeführten äusseren Schalle auf ihrem Weg zum innern Ohr erfahren.

Messende Versuche sind, wie man sieht, dringend erforderlich.

§ 59. Messung der Schallschwächung bei der direkten Leitung der Schalle von verschiedenen Körperstellen zum Ohr.

Als Schallquelle diente die gewöhnlich gebrauchte breitere, 2406 G schwere, Zinnplatte, welche durch Bleikügelchen von erforderlichem Gewicht erschüttert wurde. Der zu untersuchenden Körperstelle wurde der Schall der Zinntafel durch einen Eichenholzconductor von den gewöhnlich verwendeten Dimensionen zugeleitet, so zwar, dass das breitere Conductorende, an welches sonst das Ohr angedrückt wird, mit dem zu prüfenden Körperteil in Berührung kam. Um (für später zu erörternde Zwecke) zwischen den, den Schall aufnehmenden, Körperteil und den Conductor weitere schallhemmende Schichten einfügen zu können, war an das untere Ende des Eichenholzconductors mittelst Siegellack eine dünne Messingplatte befestigt (§ 63), den Gehörgang verstopfte ich beiderseits mit einem Finger. Auch bei diesen Versuchen handelte es sich darum, den Schall der Zinntafel derartig abzuschwächen, bis die Hörempfindung auf ihren Schwellenwert abgemindert war.

Ich experimentierte nur an solchen Körperstellen, die leicht, d. h. ohne in unbequeme Lagen gebracht werden zu müssen, zum vorliegenden Zweck verwendbar sind und die ausserdem den Schall bei der Fortleitung zum Felsenbein nicht allzu sehr schwächen. Wäre letzteres der Fall, so würden sehr starke äussere Schalle erregt werden müssen, bei welchen eine direkte Leitung durch die Luft zum Ohr, trotz der sorgsam verstopften Gehörgänge, nicht zu vermeiden gewesen wäre. Man kann übrigens auch diese Aufgabe experimentell untersuchen, wenn man einen sehr langen und entsprechend dicken Holzstab m benützt. Auf das eine Ende desselben wird die Zinnplatte gelegt, die durch Fallkügelchen in gewöhnlicher Weise erschüttert wird, während auf das in einem angrenzenden oder noch ferneren Zimmer befindliche andere Ende des Stabes der Conductor gestellt wird, der den Schall in das Ohr des Experimentators überführt. Zur Erzielung einer eben merklichen Hörempfindung ist bei dieser Versuchsanordnung (die mit A bezeichnet werden soll) eine verhältnismässig starke Erschütterung der Schallquelle erforderlich, die mit S_a bezeichnet sein mag. Wegen des grossen Abstandes der Schallquelle (Zinntafel) vom Ohr des Experimentators (während das andere Ohr selbstverständlich verstopft wird) kann der Schall durch die Luft

nicht gehört werden. Nun bestimmt man (was übrigens nicht absolut erforderlich ist) in gewöhnlicher Weise den Wert S der Dynamie, indem der Conductor unmittelbar auf die Zinntafel gesetzt wird. Demnach ist die Schallschwächung in dem langen Stabe $= S_a - S$. Wird nun mittelst der Versuchsanordnung A statt des Ohres die zu prüfende Körperstelle an den Conductor angedrückt, um ihr Zuleitungsvermögen zum Felsenbein zu prüfen, so erhält man bei der Ermittelung des nunmehr erforderlichen Schwellenwertes ein neues, sehr grosses S_1; demnach wird der Schall bei seiner Leitung von der geprüften Körperstelle bis zum Felsenbein geschwächt um den Betrag $S_1 - S_a$.

Die nachfolgenden Versuche wurden an, dem Felsenbein näheren, Körperstellen angestellt, die den Schall bei der Fortleitung zum Felsenbein verhältnismässig nur wenig schwächen. Es handelte sich also um die Bestimmung der gewöhnlichen Dynamie S und des S_1, welches einen viel geringeren Wert aufweist, als das S_1 der Versuchsanordnung A, bei welcher der lange Stab m zwischen Schallquelle und Conductor eingeschoben ist.

In der Tabelle 104 sind zunächst die Endresultate zusammengestellt. Die letzte Vertikalreihe dieser Tabelle drückt also in s-Werten des Zinnphonometers (von 2406 G Gewicht) aus, um wie viel die geprüften Körperstellen den Schall bei dessen Fortleitung zum Labyrinth stärker schwächen, als bei der gewöhnlichen direkten Leitung vom Ohr zum Labyrinth.

Tabelle 104.

Schallschwächung bei der direkten Leitung durch verschiedene Körperteile zum Labyrinth.

Auscultierende Körperstellen	Zahl der Versuche	S beim gewöhnlichen Auscultieren mit dem Ohr	S_1 Schwellenwert beim Auscultieren mit andern Körperstellen	$S_1 - S$
Processus zygomaticus ossis temporum	3	12,16	17,65	5,49
Schläfenbein unmittelbar über dem Ohr	3	12,22	27,56	15,34
Glabella ossis frontis	4	12,68	45,72	33,04
Mitte des Stirnbeines (Medianlinie, zwischen Nasenwurzel und behaartem Teil) etwas über den tubera frontalia	4	12,22	56,53	44,31
Os zygomaticum	8	10,50	60,95	50,45
Oberzähne (Schneidezähne)	9	10,42	63,14	52,72
Angulus maxillae inf.	1	14,05	73,75	59,70
Kinn	14	9,48	150,38	140,90

Ueber die eigentliche Bedeutung der S_t-Werte und ihre Vergleichung unter sich verweise ich auf das Ende dieses §. Bleiben wir zunächst bei den Zahlen der Vertikalreihe S_t — S.

Die geringste Schwächung — wenn wir uns zunächst an die S_t — S-Werte halten — erfolgt demnach bei der Leitung des Schalles vom Jochfortsatz des Felsenbeins zum Labyrinth (5,49 s), während auf dem kürzeren Wege von der Pars squamosa des Felsenbeins bis zum Labyrinth schon eine viel bedeutendere Schallschwächung (15,34 s) stattfindet. Vom Winkel des Unterkiefers an besteht eine erheblich geringere Schallschwächung (59,70 s), als an dem, eine viel längere Leitungsbahn in Anspruch nehmenden, Kinn (140,89 s). Bei letzterem fiel es mir auf, dass die Schwächung im Wesentlichen dieselbe ist, ob der Unterkiefer an die Oberzähne angedrückt wird oder von denselben absteht. Die Leitung erfolgt also in beiden Fällen vom Kinn durch den Körper des Unterkiefers und dessen aufsteigenden Ast zum Kiefergelenk und von da zum Felsenbein.

Meine Erfahrungen sind in scheinbarem Widerspruch mit der bekannten Thatsache, dass (bei verstopften Ohren) die Töne einer Stimmgabel am stärksten gehört werden, wenn die Gabel auf die Zähne, namentlich die Oberzähne, aufgesetzt wird, erheblich schwächer, wenn die Gabel an irgend welche Hautstellen des Kopfes angedrückt wird. Die Weichteile können eben viel weniger, als die harten Zähne in regelmässige Schwingungen versetzt werden. Deshalb lassen sie sich nur dann mit den gut vibrierenden Zähnen in Bezug auf das Leitungsvermögen vergleichen, wenn man Schalle und keine Töne zum Versuche anwendet.

Ich darf es hier nicht bei den Endresultaten, wie sie in der voranstehenden Tabelle enthalten sind, bewenden lassen, und glaube auch über die Einzelmessungen, wenigstens an den in öfteren Versuchen geprüften Körperstellen, Rechenschaft geben zu müssen. Die Versuche wurden in zwei verschiedenen Perioden angestellt, in der ersten war meine akustische Dynamie erheblich grösser (d. h. die Feinhörigkeit geringer), als in der zweiten, was übrigens auf die Messung des Leitungsvermögens von keinem Einfluss ist. Im Ganzen waren es 20 Versuchsreihen, die weiter unten mit ihren Ordnungszahlen (I bis XX) bezeichnet werden. In jeder Versuchsreihe wurde die akustische Dynamie (S) mittelst Auscultierens mit dem Ohr in gewöhnlicher Weise bestimmt, und sodann einige andere Lokalitäten geprüft; sämtliche 8 Lokalitäten konnten in derselben Versuchsreihe der Ermüdung wegen unmöglich zur

Beobachtung kommen. Statt einer Generaltabelle, welche einen zu grossen Umfang beanspruchen würde, beschränke ich mich auf die am häufigsten geprüften Körperstellen.

In Tabelle 105 und den folgenden sind die Einzelversuche, je nach der Grösse von S, in zwei Gruppen A und B geteilt. Die Differenzen der S_1 und S in beiden Gruppen weichen in dieser Tabelle erheblich von einander ab (37,72 und 63,17), was in den folgenden Tabellen viel weniger der Fall ist.

Tabelle 105.

Os zygomaticum.

	Versuchsreihe	Auscultieren mit dem Ohr: Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Auscultieren mit dem Ohr: Fallraum in Mm	Auscultieren mit dem Ohr: S	Auscultieren am Jochbein: Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Auscultieren am Jochbein: Fallraum in Mm	Auscultieren am Jochbein: S_1	S_1 minus S
A	VII	4,18	10	16,25	17,5	10	67,42	—
	X	2,4	20	14,05	7	35	56,98	—
	XIV	2,7	11	11,11	12,6	8	42,97	—
	XV	3,1	9	11,33	12,6	6	36,25	—
			Mittel:	13,18		Mittel:	50,91	37,73
B	IX	2,4	8	8,18	7	30	52,06	—
	XI	2,4	10	9,33	7	40	61,67	—
	XII	2,4	7	7,57	12,6	25	84,13	—
	XIII	2,4	5	6,20	12,6	26	86,13	—
			Mittel:	7,82		Mittel:	70,99	63,17

Endmittel: S = 10,50

» S_1 = 60,95

» S_1—S = 50,45.

Tabelle 106.

Oberzähne.

	Versuchsreihe	Auscultieren mit dem Ohr: Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Auscultieren mit dem Ohr: Fallraum in Mm	Auscultieren mit dem Ohr: S	Auscultieren mit den Schneidezähnen: Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Auscultieren mit den Schneidezähnen: Fallraum in Mm	Auscultieren mit den Schneidezähnen: S_1	S_1 minus S
A	III	4,18	5	10,80	17,5	15	86,42	—
	V	4,18	9	15,27	17,5	23	111,27	—
	VIII	2,4	20	14,05	14,2	8	48,43	—
	XIV	2,7	11	11,11	17,5	5	45,22	—
	XV	3,1	9	11,13	14,2	6	40,85	—
			Mittel:	12,51		Mittel:	66,44	53,93

	Versuchsreihe	Auscultieren mit dem Ohr			Auscultieren mit den Schneidezähnen			S_1 minus S
		Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Fallraum in Mm	S	Gewicht des Fallkügelchens in Mg	Fallraum in Mm	S_1	
B	IX	2,4	8	8,18	12,6	5	32,56	—
	XI	2,4	10	9,33	12,6	5	32,56	—
	XII	2,4	7	7,57	12,6	20	73,75	—
	XIII	2,4	5	6,20	12,6	32	97,29	—
			Mittel:	7,82		Mittel:	59,04	51,22

Endmittel: S = 10,42
» S_1 = 63,14
» S_1—S = 52,72.

Tabelle 107.

Kinn.

	Versuchsreihe	Auscultieren mit dem Ohr			Auscultieren mit dem Kinn (Mitte des unteren Randes)			S_1 minus S
		Gewicht	Fallraum	S	Gewicht	Fallraum	S_1	
A	V	4,18	9	15,27	56	12	271,89	
	VI	4,18	9	16,25	56	8,5	197,89	
	X	2,4	20	14,05	36,5	10	142,13	
	XIV	2,7	11	11,11	17,5	30	130,15	
	XV	3,1	9	11,33	14,2	40	125,09	
			Mittel:	13,60		Mittel:	167,56	153,96
B	IX	2,4	8	8,18	36,5	12,5	162,19	
	XI	2,4	10	9,33	36,5	15	180,50	
	XII	2,4	7	7,57	36,5	8	124,66	
	XIII	2,4	5	6,20	36,5	12	158,32	
	XVI	2,4	4	5,44	36,5	10	142,13	
	XVII	2,4	9,5	9,09	36,5	5	94,45	
	XVIII	2,4	4	5,44	36,5	10	142,13	
	XIX	2,4	9,2	8,85	36,5	7,9	123,69	
	XX	2,4	3	4,59	36,5	9	133,55	
			Mittel:	7,19		Mittel:	140,83	133,64

Endmittel: S = 9,48
» S_1 = 150,38
» S_1—S = 140,89.

In nachfolgender Tabelle sind die 5 übrigen Lokalitäten, die in nur wenigen Einzelmessungen untersucht wurden, aufgeführt,

wobei ich mich auf die blosse Angabe der S- und S_1-Werte beschränke.

Tabelle 108.

Schalleitung von verschiedenen Stellen des Kopfes zum Felsenbein.

	S		S_1		$S_1 - S$
	Auscultieren mit dem Ohr		Auscultieren an der Vergleichsstelle		
	Einzelmessungen	Mittel	Einzelmessungen	Mittel	
Processus zygomaticus oss. temporum	14,05 11,11 11,32	12,16	18,09 18,36 16,49	17,65	5,49
Schläfenbein unmittelbar über dem Ohr	16,25 8,18	12,22	39,61 27,22 15,86	27,56	15,34
Glabella ossis frontis	12,02 16,25 11,11 11,32	12,68	39,67 55,17 51,84 36,25	45,72	33,04
Os frontis (Mitte)	16,25 10,80 14,26 7,57	12,22	45,22 27,29 55,17 95,52	56,53	44,31
Angulus maxill inf.	14,05		73,75		59,70

Die Differenz $S_1 - S$ giebt, wie schon hervorgehoben, an, um wie viel der Schall bei der Fortleitung von den geprüften Körperstellen zum Labyrinth geschwächt wird.

In den Tabellen 105, 106 und 107 sind die Messungen, wie erwähnt, in zwei Gruppen A und B gesondert, je nachdem der S-Wert grösser oder kleiner war. Man sieht, dass (abgesehen von der, sicherlich zufälligen, Ausnahme des Os zygomaticum) die Differenz $S_1 - S$ in der A- und B-Reihe keinen wesentlichen und constanten absoluten Unterschied bietet. Die Differenzwerte sind nämlich:

Tabelle 109.

	Bei grösserem S	Bei kleinerem S
Os zygomaticum	12863	24210
Oberzähne	18389	17466
Kinn	52501	45573

Auch die in Tabelle 108 aufgeführten sparsamen Messungen an andern Körperstellen geben keine constanten Unterschiede der $S_1 - S$ in den Versuchen mit geringeren oder grösseren S-Werten. Daraus geht also hervor, dass die Werte $S_1 - S$ unabhängig sind von der Grösse der jeweiligen S, d. h. der jeweiligen akustischen Dynamie.

Für ärztliche Auscultation hätte die Kenntnis der Schallschwächung bei dessen Fortleitung von einer beliebigen Hautstelle bis zum Labyrinth an sich wohl keine praktische Bedeutung. Wenn aber beim gewöhnlichen Auscultieren mit dem Ohr das auscultatorische Geräusch stark oder auch nur mässig merkbar ist, kann man der Reihe nach andere, den Schall zunehmend stärker abschwächende, Körperstellen wählen, bis man an diejenige kommt, welche das Geräusch bis zur Ebenmerklichkeit herabmindert. Das entsprechende S_1, das beim Auscultieren mit dem Ohr eine merkliche, vielleicht sogar starke Empfindung macht, ist somit das Mass der Schallstärke des fraglichen auscultatorischen Geräusches.

Es ist ersichtlich, dass, ausser den auscultatorischen, jedwede sonstigen Schalle mittelst dieses Verfahrens auf ihre Intensität geprüft werden können.

Die Schwächung des Schalles bei dessen Leitung von irgend welchen Hautstellen bis zum Labyrinth wird ohne Zweifel individuelle Unterschiede bieten, je nach der vom Wachstum abhängigen Grösse und vielleicht auch nach der qualitativen Beschaffenheit der Leitungsorgane. Wahrscheinlich aber werden diese individuellen Einflüsse nicht bedeutend sein. Versuche in dieser Richtung konnte ich bei der Fülle der mir anliegenden sonstigen Messungsobjekte nicht anstellen, und ich kann — gegenüber meinen verhältnismässig sparsamen Messungen, die zudem am Os zygomaticum in den beiden Versuchsreihen A und B sehr erhebliche Unterschiede bieten, — an dieser Stelle nur einen früheren Ausspruch wiederholen, dass zur definitiven Ermittelung der Normen auf diesem fast unerschöpflichen Gebiet mindestens so viele Hunderte, ja Tausende von Messungen künftig erforderlich sein wer-

den, als ich solche bloss nach Dutzenden oder Hunderten habe ausführen können.

Was die Bedeutung der S_1-Werte betrifft, so darf nicht übersehen werden, dass der Schall von seiner Eintrittsstelle aus allseitig sich ausbreitet, so dass die Leitung von der Eintrittsstelle an zum Labyrinth nur einen der vielen Wege darstellt, den die Schallbewegung überhaupt nimmt. Da sich der Stoss über einen grossen Körperbezirk verbreitet, so müssen die experimentell gefundenen S_1-Werte natürlich viel grösser ausfallen, als sie sein würden, wenn dem Schall zum Ohr nur eine einzige Bahn, d. h. von der Eintrittsstelle direkt (oder doch wenigstens durch die jeweils am besten leitenden Körperschichten) angewiesen wäre. Die unter letzteren Bedingungen stattfindende Schallschwächung könnte übrigens an den aus der Leiche auspräparierten Körperteilen, vielleicht auch am Lebenden selbst gemessen werden, wenn man den Conductor an verschiedenen sonstigen Körperstellen aufsetzt, um die Grenzen zu bestimmen, innerhalb welcher ein S_1, das von der Eintrittsstelle des Schalles bis ins Labyrinth sich fortpflanzt und der Versuchsperson eine Schwellenempfindung verschafft, auch in dem an beliebigen anderen Körperstellen Auscultierenden noch eine Schwellenempfindung erregt.

Die absoluten Verbreitungsbezirke der Stösse von den einzelnen Eintrittsstellen aus sind demnach vorerst unbekannt. Daraus könnte auf den ersten Anblick gefolgert werden, dass die S_1-Werte durchaus nicht mit einander können verglichen werden. Gleichwohl aber sind sie, wie mir scheint, unter sich leidlich vergleichbar.

Das Volum der Leiter ist, wie wir wissen, von grossem Einfluss auf die Schwächung, welche der Schall durch die Volumeinheit des Leiters bei seiner Fortpflanzung durch denselben erfährt. Die Schwächungen durch die Volumeinheit verhalten sich umgekehrt, wie die Volume der Leiter selbst. Sind nun auch die absoluten Verbreitungsbezirke der Schalle im Körper unbekannt, so spricht doch vieles dafür, dass sie im Wesentlichen dieselbe Grösse x haben werden. Also sind die S_1-Werte mit einem x zu dividieren, welches bei den einzelnen Lokalitäten keine allzugrossen Unterschiede bieten dürfte. Wird Letzteres zugestanden, so müsste geschlossen werden, dass die S_1-Werte (annähernd) unter sich vergleichbar seien.

§ 60. Schwächung des Schalles bei dessen Durchgang durch Teile des lebenden Menschen.

Während bei den Versuchen des vorigen § der Experimentator sich selbst beobachtet und beobachten muss, handelt es sich hier vorzugsweise um die Messung der Schwächung, welche der Schall beim Durchgang durch solche Körperteile erleidet, an welchen nur bei anderen Individuen beobachtet werden kann. Bloss die Schallschwächung durch die Finger und die Hand, höchstens noch durch die Unterhälfte des Vorderarms, können wir an uns selbst messen.

Man erregt einen Schall durch Herabfallen eines Bleikügelchens auf einen kleinen Recipienten, der mit schmaler Basis an eine Hautstelle a angedrückt wird. Ein Conductor von passender Form wird an die, dem a genau gegenüberliegende, Stelle b des zu prüfenden Körperteiles angedrückt, um die Schwächung zu bestimmen, welche der Schall bei geradlinigem Fortschreiten senkrecht zur Längsrichtung des Körperteiles, also auf den nächsten Weg von a bis b, erleidet. Nach der Auseinandersetzung im vorigen § wird damit freilich nur die Schallschwächung in einer von den vielen, überhaupt möglichen, Richtungen des Schalles gemessen. Man könnte nun natürlich auch die Leitung des bei a erregten Schalles zu jedweder andern Stelle, als b, der Oberfläche des zu prüfenden Körperteiles untersuchen, eine umfassende Aufgabe, auf die ich vorerst verzichten muss. Auch hier wieder haben wir den an der Eintrittsstelle a erregten Schall durch Verwendung entsprechender Fallkugeln und Fallhöhen derartig abzuschwächen, dass er beim Auscultieren bei b nur noch eine eben merkliche Empfindung erregt. Aber auch mit Schallen von beliebiger Stärke kann man zu unsern Zwecken operieren; man erregt bei a einen Schall a_1, der bei b gut hörbar ist, und sodann wiederum bei a einen stärkeren Schall a_2, der an einer dritten entfernteren Stelle c als ebenso stark, als der Schall a bei b empfunden wird. Dann ist die Schallschwächung in der Wegstrecke ac — ab = $a_2 - a_1$.

Die der Messung zugänglichen Aufgaben sind auch hier wieder nahezu unerschöpflich und gestatten ohne Zweifel mancherlei praktische Verwendungen für die Zwecke der Phonometrie. Wenn, um nur ein Beispiel anzuführen, die Schwächung ein für allemal gemessen ist, welche der Schall beim Durchgang durch die Fingercylinder, durch bestimmte Stellen der Hand, vielleicht auch noch der untersten Partie des Vorderarms, in der Richtung von der

Streck- zur Beugeseite der Teile erleidet, so haben wir wiederum — analog den im vorigen § gegebenen Anleitungen — Schichten unseres eigenen Körpers von bekannter und gleichbleibender schallschwächender Wirkung, die, zwischen die zu untersuchende Hautstelle und den Conductor gebracht, den Schall wirksam abmindern und somit zur Bestimmung der Stärke auscultatorischer Zeichen, sowie auch irgend welcher anderen in starren Körpern erregten Schalle, benützt werden können (s. § 63)

Wenn man bei der vorliegenden Aufgabe mit Fallkügelchen experimentiert, so muss der zu untersuchende Körperteil in wagrechte Lage gebracht werden. Sowohl die Schallquelle als der Conductor müssen jetzt eine andere Form erhalten, als bei den meisten sonstigen phonometrischen Studien. Der in § 6 beschriebene und pag. 33 abgebildete gekrümmte Conductor wurde zu diesen Versuchen verwendet. Auf das Ende (F, Fig. 5) des gekrümmten Conductors wird die Mitte des zu prüfenden Teiles gelegt, während der als Schallquelle dienende Recipient (Fig. 6 pag. 34) mit seiner schmalen Basis t an die Hautstelle angedrückt wird, welche der auf F gesetzten Hautstelle gegenüber liegt. Da dieser letzteren Aufgabe bei dicken und breiten Körperteilen schwer zu entsprechen wäre, so wird der, pag. 34 erwähnte, Ring verwendet, dessen Centrum senkrecht über das Centrum des Endes F des Conductors, also auch über das Centrum des Tellers (q) des Recipienten eingestellt werden kann. Der Ring dient somit als Controlle der richtigen Lage der Teile des Apparates, sowie der zu prüfenden Körperstelle.

Bei unserer Versuchsanordnung geht somit (in der Regel) der Schall von t des Recipienten in die darunter liegende obere Hautstelle, und von da auf kürzestem Wege durch den zu prüfenden Teil auf die entsprechende untere Hautstelle und bei F in den Conductor, an dessen anderes Ende B das Ohr des Experimentators angedrückt ist [1]). Der Schall verbreitet sich freilich

1) Bei diesem Verfahren hat man es mit einer möglichst geringen Zahl von Widerständen zu thun. Der Recipient vertritt hier die Stelle der Phonometertafel.

Bei der Dynamiebestimmung (S) kommt in Frage:

A Leitung im Recipienten

b Uebergang vom Recipienten in den aus gleichem Material bestehenden Conductor (dieser Widerstand ist = o)

C Fortleitung im Conductor

c Uebergang vom Conductor in das Ohr.

Bei der S_1-Bestimmung handelt es sich um:

A Leitung im Recipienten

a Uebergang in das zu prüfende Organ

noch nach allen sonst möglichen Richtungen in den Körperteil; diese Verbreitung könnte, wie schon oben angedeutet wurde, ebenfalls bestimmt werden. Alle Versuche der Tabellen (die am Brustkorb angestellten ausgenommen) beziehen sich auf den speciellen Fall des Durchgangs des Schalles auf kürzestem Weg von der Eintrittsstelle (a) zur gerade gegenüberliegenden Stelle (b).

Man könnte übrigens die Verbreitung des Schalles vollständig ausschliessen durch Versuche an der Leiche. Zunächst wäre, nach dem eben geschilderten Verfahren, an dem unversehrten Leichenteil zu experimentieren. Die gemessene Schallschwächung sei S_1. Hierauf schneidet man ein cylinderförmiges Stück von mässigem Querschnitt aus, das zwischen den Recipienten und den Conductor gebracht wird. Nunmehr reicht, um dem Conductor dieselbe, zur Schwellenempfindung führende, Schallstärke zuzuführen, ein geringerer Anstoss der Fallkugel hin, als beim Versuch an dem unversehrten Leichenteil. Der Schall wird somit jetzt weniger geschwächt, d. h. S_2 hat einen kleineren Wert als S_1, weil die Ableitung in die Nachbarteile verhindert ist. S_2 ist also die wahre, durch keine Nebeneinflüsse gestörte Schallschwächung.

Die nachfolgenden Versuche, welche ich schon in der Zeitschrift für Biologie, Bd. 19 S. 101, veröffentlicht habe, wurden an meinem Institutsdiener Nagel und an vorläufig nur wenigen Körperstellen angestellt. Sie beweisen die leichte Anwendbarkeit der phonometrischen Technik auch auf diesem Gebiete. Bei der Bestimmung der Dynamie (S) wurde selbstverständlich die Schallquelle (Recipient) unmittelbar auf das Ende F des Conductors gestellt. Bei der Anwendung von Buchsbaumholz als Schallquelle (Recipient) und der Fortleitung des Schalles durch den langen gekrümmten Conductor aus demselben Material bis zum Ohr zeigte mein S (Dynamie) trotz der grossen Länge des Conductors den niedrigen Wert von 6,57 (s. Tabelle III Rubrik: Körperteil o.).

B Leitung im Organ

Uebergang in den Conductor. Derselbe ist = dem Uebergangswiderstand a.

C Leitung im Conductor

c Uebergang vom Conductor in das Ohr.

Also sind in beiden Fällen gleich die Widerstände

A, C und c.

b bei S verschwindet; demnach bleibt bei der S_1-Bestimmung nur übrig $2a + B$, das heisst das, was gemessen werden soll: die Leitung im Organ und dessen 2 Uebergangswiderstände. In schlecht leitenden Medien — und hieher gehören die Körperteile — ist aber der B-Wert so gross, dass die 2 a als wenig in Betracht kommend vernachlässigt werden können.

Bei unsern Versuchsbedingungen ist der Exponent ε besonders niedrig, er beträgt nach Tabelle 110 bloss 0,54 im Mittel und zeigt keine Abänderungen mit der Zunahme des Gewichtes der Fallkugeln. Ich bestimmte (s. die nachfolgende Tab. 110) den Wert von ε unter Anwendung von Bleikügelchen, die, ungefähr entsprechend den in den Versuchen der Tab. 111 benützten Kügelchen, zwischen 8 bis 295 Mg schwer waren. Die Resultate der 4 einzelnen Versuchsreihen sind in den entsprechenden Horizontalreihen der Tab. 110 angegeben.

Tabelle 110.

	Gewicht P der schwereren Bleikugel	Gewicht p der leichteren Bleikugel	$\frac{P}{p}$	Fallhöhe h der schwereren Kugel	Fallhöhe H der leichteren Kugel	$\frac{H}{h}$	ε
	in Milligrammen			in Millimetern			
I	17,5	8,75	2,000	6	22,6	3,77	0,522
II	25,95	56,0	2,158	6	25,0	4,17	0,539
III	141,0	74,0	1,905	6	19,0	3,17	0,558
IV	295,0	132,6	2,235	6	25,7	4,42	0,541
							Mittel: 0,540

Die Schallstärken sind demnach in der Tab. 111 berechnet nach der Formel: Fallgewicht multipliziert mit Potenz 0,54 der Fallhöhe.

Die Tabelle selbst bedarf nur weniger Erläuterungen. Von den in der dritten Vertikalrubrik der Tabelle 111 aufgeführten S_1-Werten ist der Betrag der Dynamie (S = 6,57) selbstverständlich abzuziehen, da letzterer sämtliche Schwächungen zusammenfasst, die der Schall bei seinem Durchgang durch den phonometrischen Apparat und die schalleitenden Teile des Ohres erfährt.

Die vierte Vertikalreihe enthält die in S-Werten unseres speciellen Phonometers ausgedrückten Schallschwächungen, d. h. die Mittelwerte der dritten Vertikalrubrik minus der Dynamie 6,57.

Die fünfte Vertikalrubrik giebt Verhältniszahlen, wobei die geringste Schallschwächung (durch die Finger) = 1 gesetzt wird.

Die sechste Vertikalrubrik bestimmt aus den Zahlen der vierten Rubrik die Schallschwächung in absoluten Werten (unseres Phonometers) für 1 Cm Dicke der geprüften Teile, während die siebente Rubrik letztere Werte in Vergleichszahlen umrechnet. Die Zahlen dieser beiden Rubriken haben freilich, streng genommen, keine Berechtigung, insofern die, an den einzelnen geprüften Körperstellen sehr verschiedene, und zudem unbekannte, Verbreitung

des Schalles von der jeweiligen Eintrittsstelle nach allen übrigen Richtungen auf die von mir zunächst untersuchte Schallschwächung beim Durchgang des Schalles auf dem kürzesten Weg von wesentlichem, und je nach der Configuration u. s. w. des Teiles variabelem, Einfluss sein muss. Als vorläufige Anhaltspunkte dürften aber die berechneten Schallschwächungen durch 1 Cm Weglänge vielleicht gelten können.

(Tabelle III s. Seite 261.)

Nach Tabelle III schwächen die Körperteile den Schall bei dessen Durchgang durch dieselben bedeutend. Schon die Finger und die Zehen mindern den von der Streck- zur Beugeseite fortschreitenden Schall fast um den drei- resp. siebenfachen (genau den 2,5- und 6,6fachen) Betrag einer Dynamie. Je weiter man von den Extremitätenspitzen nach aufwärts, also zu zunehmend dickeren Teilen, übergeht, um so mehr nimmt die Schallschwächung zu, um beim Durchgang des Schalles quer durch den Oberarm den 86-fachen, durch den Oberschenkel nahezu den 250-fachen Betrag einer Dynamie zu erreichen. Dass die Schallschwächung nicht einzig und allein von der Dicke der Teile abhängt, zeigt die letzte Vertikalreihe der Tabelle, in welcher die Schallschwächung für eine Schicht von 1 Cm Dicke berechnet ist. Die kleinsten Werte bieten wiederum die Finger und Zehen, die grössten der Oberarm, die Wade, der Oberschenkel (wo die direkte Linie von der Eintrittsstelle des Schalles bis zum Conductor nur durch Weichteile führt). In Teilen mit, im Verhältnis zu den Weichteilen stark entwickelten Knochen, ist die Schallschwächung geringer. Ich muss aber auch bei dieser Gelegenheit wiederum daran erinnern, dass der ohne Zweifel starke Einfluss der (mir unbekannten) allseitigen Verbreitung des Schalles auf diese Messungen vorerst nicht gewürdigt werden kann.

Was den bloss in 2 Messungen geprüften Brustkorb anlangt, so betrug in Versuch a der halbe Brustkorbumfang auf der angegebenen Höhe, d. h. der Eintrittsstelle des Schalles (Mitte des Brustkorbes) von der Austrittsstelle (richtiger Applikationsstelle des Conductors) an dem gegenüberliegenden Dornfortsatz 41 Cm. In Versuch b war der Abstand der Eintritts- von der Austrittsstelle = 13 Cm. Die für 1 Cm Länge des Brustkorbumfanges berechnete Schallschwächung beträgt somit in a fast 41,6 s, in b 46,9 s, ein Unterschied, der gegenüber den bloss zwei vorliegenden Messungen wohl zufällig ist. Diese Messungen beweisen, dass beim Percutieren des Brustbeines der Schall in der Richtung des

Tabelle III.

Schwächung des Schalles bei dessen Durchgang durch verschiedene Körperteile des lebenden Menschen.

Körperteile	Fallgewicht in Mg	Fallraum in Mm	Schallstärke	Schallschwächung durch den Körperteil: absolute Werte	Schallschwächung durch den Körperteil: Verhältnis-Zahlen	Schallschwächung durch 1 Cm Schicht: absolute Werte	Schallschwächung durch 1 Cm Schicht: Vergleichs-Werte	Bemerkungen
o	4,18	3	7,56					
	4,18	3	7,56					
	2,4	4	5,07					
	4,18	2	6,08					
	Mittel:		6,57	—	—	—	—	
Linker Zeigefinger (Phalanx II) Dicke 12,5 Mm	12,6	5	30,05					Beide Zeigefinger über einander gelegt ergeben 46,0 Schallstärke (17,5 Mg und 6,0 Mm); also beträgt die Schwächung 46,0—6,57 = 39,43, d. h. für einen Finger 19,76 (gegen 16,08 der Tabelle).
	4,18	16,5	19,00					
	12,6	2,2	18,51					
	10,0	4,7	23,06					
	Mittel:		22,65	16,08	1	12,9	1	
Mitte derHand; Dicke 35 Mm	23,4	13	93,48					
	23,4	14	97,30					
	23,4	13	93,48					
	Mittel:		94,65	88,08	5,5	25,1	1,9	
Vorderarm (Grenze des 3. und 4. Viertels) Dicke 35 Mm	74	10	256,6					Die Teile sind von oben (Ellbogengelenk) her numeriert.
	47	7	134,4					
	36,5	17	168,5					
	47	27	278,6					
	47	24	261,5					
	Mittel:		219,9	213,3	13,2	60,9	4,7	
Vorderarm Mitte; Dicke 50 Mm	36,5	37	265,5	249,9	15,5	50,0	3,9	
Vorderarm (Grenze des 1. und 2. Drittels) Dicke 55 Mm	74	29	445,9					
	74	18	352,4					
	Mittel:		404,2	397,6	24,7	72,2	5,6	
Oberarm,Mitte; Dicke 62 Mm	132,6	14	551,4					
	132,6	12	507,3					
	Mittel:		529,3	522,7	32,4	84,3	6,5	
Phalanx I der grossen Zehe; Dicke 20 Mm	23,4	4	49,46	42,89	3,1	21,4	1,7	
Wade v. innen nach aussen; Dicke 70 Mm	132,6	31	846,9	840,3	52,1	120,0	9,3	Die vom Schall direkt durchsetzte Strecke bestand nur ausMuskulatur.
Oberschenkel Dicke 90 Mm	132,6	79	1403,5	1396,9	86,8	155,1	12,0	
Brustkorb (a)	295	26	1714,0	1707,4	106,0	41,6	3,2	Von der Mitte des Brustbeines zum gegenüberliegenden Dornfortsatz der Wirbelsäule.
Brustkorb (b)	56	85	617,6	611,0	38,0	46,9	3,6	Von der Mitte des Brustbeines bis zu einer Stelle seitlich nach rechts von der rechtenBrustwarze.

Thoraxumfanges viel leichter fortgepflanzt wird, als nach den anderen Richtungen, d. h. durch die Brusthöhle, woran übrigens auch die medicinische Diagnostik meines Wissens nie gezweifelt hat.

Die Zahlen der voranstehenden Versuchsreihe gelten selbstverständlich nur für die besonderen Bedingungen, unter denen die Messungen mittelst eines kleinen als Schallquelle dienenden Recipienten von Buchsbaumholz und des gekrümmten Conductors (pag. 257 u. 258) angestellt worden sind. Der Conductor kommt weniger durch seine Form und Masse, als dadurch in Betracht, dass das Ende F (s. Fig. 5) desselben, welches den aus dem geprüften Körperteil austretenden Schall aufnimmt, einen constanten und geringen Querschnitt hat. Der Querschnitt beträgt (bei 2 Cm Querdurchmesser des Conductors) 3,14 QCm. Aus sämtlichen geprüften Körperstellen, möge ihre Oberfläche gross sein oder klein, würde somit der Schall durch ein constantes Areal von 3,14 QCm Oberfläche abgeleitet und damit wenigstens einer Bedingung der Constanz der Versuchsbedingungen genügt. Dass aber einer andern wichtigen Bedingung bei phonometrischen Untersuchungen am unversehrten Körper der Natur der Sache nach überhaupt nicht entsprochen werden kann, wurde schon oben hervorgehoben, insofern die Bedingungen der Schallausbreitung von der Eintrittsstelle des Schalles in den Körperteil bis zu dessen Uebergang von da in den Conductor in den einzelnen Körperstellen, je nach deren Masse, Gestaltung und Formbestandteilen, bedeutend variieren.

Zu den nachfolgenden Versuchen diente ein langer 3,5 Kg schwerer Cylinder von Buchenholz zur Aufnahme des Schalles aus den zu prüfenden Körperteilen. Die Länge desselben betrug 1,5 M, der Durchmesser $6^2/_3$ Cm; das eine Ende a ging in ein viereckiges Stück b von 20 Cm Länge, fast 8 Cm Breite und 6,5 Cm Höhe über. Die zu untersuchenden Körperteile wurden auf b gelegt und zwar senkrecht zur Längsrichtung des Cylinders, während der kleine Recipient von Buchsbaumholz, als wiederum durch Bleikugeln zu erschütternde Schallquelle, an die Oberseite des betreffenden Teiles angedrückt wurde.

Die meisten Körperteile der nachfolgenden Versuchstabelle sind länger, als die Breite (8 Cm) des viereckigen Aufnahmestückes b beträgt, so dass also ihr Berührungsareal, mit b = 8 × die durchschnittliche Breite des aufliegenden Körperteiles selbst, viel grösser war, als in den Versuchen der Tabelle III. Das Berührungsareal betrug z. B.: 2ter Finger 2. und 1. Phalanx 9 QCm;

Hand samt Daumenballen 76; Mitte des Oberschenkels 106 QCm, bot also Unterschiede bis fast ums 12-fache. Auf das andere Ende c des Buchenholzcylinders wurde der gewöhnliche Eichenholzconductor gesetzt. Der Schall ging also vom Recipienten in den Körperteil, durch die ganze Länge des Buchenholzcylinders und den auf dessen Ende c gesetzten Eichenholzconductor in das Ohr.

Die Versuche selbst stellte Dr. Korniloff aus Moskau im hiesigen physiologischen Institut an. Wurde die Schallquelle (Buchsbaumrecipient) auf das Aufnahmestück b des Buchenholzcylinders gestellt und an dessen anderem Ende c mittelst des gewöhnlichen Eichenholzconductors gehört und die Schallquelle durch Bleikügelchen erschüttert, so war die objektive Schallstärke, welche eine Schwellenempfindung ergab, bei Korniloff 10,067 S, bei mir aber 13,37 S, also kein grosser Unterschied in Anbetracht der bedeutenden Altersverschiedenheit der Beobachter. Für Schalle aus der Luft erwies sich aber Dr. Korniloff ausserordentlich empfindlich, indem er viele sehr schwache Schalle noch hörte, die auf mich wirkungslos waren. Wir waren deshalb genötigt, den Holzcylinder durch ein, im übrigen wohl verschlossenes (zu andern akustischen Zwecken vorhandenes) Loch der Zimmerwand zu stecken und (bei geschlossener Zwischenthüre) den Schall in dem einen Zimmer zu erregen und im Nebenzimmer am andern Ende des Holzcylinders zu auscultieren. Dadurch war die Möglichkeit der Leitung selbst sehr starker Schalle durch die Luft zum Ohr des Beobachters sicher beseitigt und dem Schall der beabsichtigte Weg durch Festteile auf der oben geschilderten Bahn angewiesen.

In der nachfolgenden Tabelle unterlasse ich die Angabe der Fallhöhen und Fallgewichte und beschränke mich auf die Endresultate, d. h. diejenigen objektiven Schallstärken (S-Werte), welche bei den gegebenen Versuchsbedingungen nach ihrem Durchgang durch den zu prüfenden Teil im Ohr des Experimentators eben noch eine Schwellenempfindung verursachen.

Zur Vergleichung gebe ich aus Tabelle III die am gekrümmten Conductor von mir gemessenen Werte (nach Abzug des Dynamiewertes 6,57); von den von Korniloff beobachteten Zahlen ist der Dynamiewert (10,067) ebenfalls abgezogen.

Die Versuche der Tabellen III und II2 sind an derselben Person (pag. 258) angestellt worden.

Tabelle 112.

	A Ableitung des Schalles aus	B Ableitung des Schalles aus
	einem constanten bloss 3,14 QCm betragenden Areal der Haut S	einem variabelen Areal der Haut S
Linker Zeigefinger (Phal. 2)	16,08 = 1	31,83 = 1
Mitte der Hand	88,08 = 5,5	117,80 = 3,7
Vorderarm (Grenze des 3. und 4. Viertels)	213,3 = 13,3	166,86 = 5,2
Vorderarm, Mitte	249,9 = 15,5	222,36 = 7,0
Vorderarm (Grenze des 1. und 2. Drittels)	397,6 = 24,7	264,5 = 8,3
Oberarm, Mitte	522,7 = 32,4	425,99 = 13,4
Phalanx I der Zehe	42,89 = 3,1	29,70 = 0,9
Wade von innen nach aussen	840,3 = 52,1	367,88 = 11,6
Oberschenkel	1396,9 = 86,8	465,17 = 14,7

Obige Erfahrungen zeigen, dass die Schallschwächungen um das 87-fache variieren, wenn man die Versuche dadurch thunlichst vergleichbar macht, dass der Schall von einem constanten und kleinen Hautareal abgeleitet wird. Diese Versuchsreihe ist allein gerechtfertigt und führt zu guten Vergleichswerten. Liegt aber der zu prüfende Körperteil auf einer breiten Conductorfläche, so hat ein schmaler Teil, z. B. ein Finger, sehr viel weniger Berührungspunkte mit letzterer, als ein breiter, z. B. der Oberschenkel. Letzterer wird also eine viel grössere Schallmenge in den Conductor und das Ohr abgeben können, so dass die S-Werte in der B-Reihe der Tabelle viel geringere Unterschiede unter sich und grossenteils auch geringere absolute Werte bieten müssen, als in der A-Reihe.

Wie viel bei diesen Versuchen auf das Areal ankommt, welches den Schall von einem Medium in das andere leitet, zeigt folgender Versuch. Am Oberschenkel unserer Versuchsperson erhielt ich bei Anwenduug des grossen Buchenholzcylinders einen S-Wert von 532,2 (Fallkugel 141 Mg Gewicht, Fallhöhe 11,7 Mm). Wurde dabei zwischen Oberschenkel und das Buchenholzstück ein Holzcylinder von je 3 Cm Höhe und Durchmesser gelegt, also der Schall von einer bloss etwa 7 QCm betragenden Fläche des Oberschenkels abgeleitet, so betrug S = 1379,4 (295 Mg Gewicht

und 17,4 Mm Fallhöhe). Da meine akustische Dynamie bei Verwendung des Buchenholzcylinders 13,37 betrug, so sind obige Werte auf 518,8 und 1366,0 zu reducieren.

---

§ 61. Die Anwendung der Phonometrie zur Diagnose von Knochenbrüchen.

Die Percussion der Knochen ist neuerdings, namentlich auch verbunden mit der Auscultation, von Lücke und von Hueter als eventuelles Hilfsmittel zur Diagnose von Knochenbrüchen empfohlen worden (s. P. Bruns, Allgemeine Lehre von den Knochenbrüchen. Stuttgart 1882. S. 171). Von wirklichen Messungen der Schalleitung durch gebrochene Knochen konnte dabei freilich keine Rede sein, und waren solche bisher auch nicht beabsichtigt.

Die Phonometrie ist auch hier, wie die nachfolgenden Beobachtungen beweisen, welche ich im hiesigen pathologischen Institut an einer in hohem Grad abgemagerten männlichen Leiche mit sehr dünner Haut machte, leicht auszuführen.

Der schon mehrfach erwähnte Recipient (von Elfenbein) diente als Schallquelle; die Erschütterung des Recipienten wurde wiederum durch Bleikügelchen hervorgebracht, und war ich nicht wenig erstaunt, wie gering das Gewicht derselben zu sein braucht, um in einem langen Knochen am Menschen einen Schall hervorzubringen, der auf ziemliche Entfernung von der Schallquelle als eben noch merklich wahrgenommen werden kann.

Hoch oben an die innere Tibiafläche wurde der Elfenbeinrecipient angelegt, der Conductor aber an eine tief unten liegende Stelle derselben Fläche der Tibia. Der Recipient (Schallquelle) und der Conductor hatten einen Abstand von 17 Cm im Lichten. Unter diesen Umständen war (Exponent $\varepsilon = 0{,}57$) $S_1 = 12{,}76$ (5,1 Mg und 5 Mm). Da mehrfache, obschon von kräftiger Hand geführte Hammerschläge keinen Knochenbruch erzeugen konnten, wurde der Knochen zwischen der Eintrittsstelle des Schalles und der Ansatzstelle des Conductors durchgesägt und die Hautwunde genau vernäht. Beide ebenen Knochenenden waren in genauem Zusammmenhang, für S_2 ergab sich 35,53 (14,2 Mg Fallgewicht, 5 Mm Fallhöhe, wobei wiederum der Exponent ε zu 0,57 bestimmt worden ist), also ein fast 3 mal grösserer Wert. Dieser

Unterschied ist zwar nicht gross, bei einfacher Auscultation wird er kaum bemerkt werden, für die phonometrische Methode ist er aber leicht kenntlich. Ich zweifle aber nicht, dass er praktisch benützt werden kann, wenn man correspondierende Leitbahnen der gesunden und der fracturierten Seite mit einander vergleichen würde. Auf beiden Seiten müssten, wenn man auf Schwellenversuche verzichten wollte, gleichstarke Schalle erregt werden, die dann auf der fracturierten Seite merkbar schwächer gehört würden.

Schliesslich wurde ein 1 Cm langes Stück aus der Tibia ausgesägt und die Haut wiederum durch Naht verbunden. Nunmehr war ein $S_2 = 1833{,}3$ erforderlich (Fallgewicht 132,6 Mg, Fallraum 45 Mm), um dem Ohr eine Schwellenempfindung zu verschaffen; der Exponent ε der Fallhöhe betrug 0,69. Die Leitung geschah hier wahrscheinlich von der Eintrittsstelle des Schalles nach aufwärts zum Condylus externus der Tibia, von da durch das Kniegelenk in die Fibula, durch die ganze Länge der letzteren zur Incisura peronea der Tibia und von da aufwärts bis zur Applicationsstelle des Conductors. Durch Versuche — auf die ich aber verzichten musste — liesse sich leicht feststellen, ob die Leitung so, wie ich vermute, auf langem Umweg stattfindet, oder ob sie durch die Weichteile von dem oberen zum unteren Knochenfragment hergestellt wird.

Die Widerstände für die Schalleitung bieten demnach in den drei Versuchen grosse Unterschiede. Ist der Widerstand bei normalen Knochen = 1, so wird er bei fracturierten Knochen und sorgfältiger Berührung beider (ganz glatten) Knochenenden = 2,8, beim Aussägen eines 1 Cm langen Stückes aber = 144. Wenn bei complicierten Knochenbrüchen Weichteile zwischen die Bruchenden sich einschieben, so wird die Phonometrie jedenfalls eine bedeutende und gut messbare Schwächung der Schalleitung zwischen beiden Bruchenden und somit ein wertvolles Hilfsmittel für die Specialdiagnose dieses Zustandes ergeben.

---

§ 62. Die Schalleitung im Gehörorgan.

Die Phonometerplatte und der Conductor, letzterer unter Umständen in, zu den vorliegenden Zwecken passend abgerundeten,

Formen, sind sehr geeignet auch zu Messungen der Schalleitung im Gehörorgan. Von den mannigfaltigen, hier sich darbietenden, Aufgaben, die eine umfassende Arbeit für sich in Anspruch nehmen, konnte ich nur einige wenige, und zwar je nur in einem einzigen Versuch, der Messung unterziehen.

Ein menschlicher, längst ausgetrockneter, knöcherner Schädel, ohne Trommelfelle und Gehörknöchelchen, dessen Dach abgesägt war, wurde mit beiden Zitzenfortsätzen auf die gewöhnliche Zinnphonometertafel gestellt. Der Eichenholzconductor wurde auf den oberen Rand des Felsenteils des Os petrosum gesetzt. Ein Fallgewicht von 8,75 Mg und eine Fallhöhe von 9 Mm bewirkten einen eben noch merklichen Schall, also ist $S_1 = 31{,}94$. Beim gewöhnlichen Dynamieversuch erhielt ich an mir $S = 13{,}61$ (35 Mg Fallgewicht, 10 Mm Fallhöhe). Beim Dynamieversuch, wie bei dem Versuch an dem knöchernen Schädel, ist die Schallstärke, die in den Conductor und von da in mein Ohr überging, selbstverständlich dieselbe, die Leitungsbedingungen in der Phonometerplatte sind gleichfalls dieselben; also kommt bei dem Versuch am Schädel nur noch die Schallschwächung bei der Leitung vom Zitzenfortsatz bis in den Felsenteil des Os petrosum hinzu, welche somit annähernd $31{,}94 - 13{,}61 = 18{,}33$ s beträgt.

An dem Kopf eines, eine Viertelstunde vorher geschlachteten, grossen Kalbes wurde das Schädeldach ausgesägt, das Gehirn entfernt und der Felsenteil des Os petrosum einer Seite vom Periost völlig befreit. Das äussere Ohr derselben Seite wurde abgeschnitten, so dass der Anfang des knorpligen Gehörganges bloss lag. In sämtlichen nachfolgenden Versuchen wurde der Eichenholzconductor wiederum auf den oberen Rand des Felsenteiles des Os petrosum aufgesetzt. Als Phonometer diente die gewöhnliche Zinntafel.

I) Wurde der Kopf direkt auf die Zinntafel gelegt, so dass auch die Mündung des äusseren Gehörganges gegen letztere angedrückt war, so erhielt das an der angegebenen Stelle auscultierende Ohr die Schwellenempfindung bei 176,5 S_1 (Fallgewicht 56 Mg, Fallhöhe 7 Mm).

Bei der gegebenen Versuchsanordnung hätte ich einen S_1-Wert von etwa 25, d. h. von einer doppelten Dynamie erwartet; der Versuch ergab aber eine 7mal höhere Zahl, worüber ich mir keine Rechenschaft geben kann.

II) Sodann wurde, um die Schalleitung aus der Luft zu untersuchen, der Kopf auf ein Stativ gelegt, so dass der nach abwärts

gerichtete Gehörgang einen senkrechten Abstand von 23 Cm von der darunter liegenden Zinntafel hatte. Ich erhielt 919,3 S_2 (141 Mg, 24 Mm Höhe), $^3/_4$ Stunden später 941,9 S_2 (141 Mg, 25 Mm Höhe).

III) Wurde der Gehörgang an dem in der Lage II belassenen Schädel mit Baumwolle verstopft, so konnte selbst bei 6785 s (613 Mg und 58 Mm Fallhöhe) nichts gehört werden. Noch stärkere Schalle benützte ich nicht, wegen der Gefahr, dass die Erschütterungen durch die Luft in mein, durch den Conductor allerdings geschütztes, auscultierendes Ohr dringen könnten.

IV) Die Lage des Kopfes war wie bei II und III; durch ein in den Gehörgang eingebrachtes spitzes Messerchen wurde ein Loch in den vorderen Teil des Trommelfells gemacht. Die Schwellenempfindung trat ein bei 141 Mg und 65 Mm Fallhöhe, also $S_3 = 1655$.

V) Wurde der Schädel auf die Zinntafel gelegt und der äussere Gehörgang (bei durchbohrtem Trommelfell) gegen die Tafel gedrückt, so trat die Schwellenempfindung ein bei 56 Mg und 10 Mm Fallhöhe; somit haben wir $S_3 = 217{,}9$, also nicht viel mehr als in Versuch I (d. h. unter sonst gleichen Bedingungen bei normalem Trommelfell). Darf aus diesen Erfahrungen der Schluss gezogen werden, dass beim Auflegen des Ohres auf eine tönende Platte die Leitung durch die starren Teile des Gehörorganes, und nicht die Luft, vermittelt werde?

Nach Versuch IV ist die Leitung von Luftschallen zum Labyrinth bei perforiertem Trommelfell gegen 10mal schlechter, als unter normalen Verhältnissen.

Nach Versuch I und II gehen die Schwingungen einer vibrierenden Platte 5 bis 6mal leichter über in das auf die Platte direkt aufgelegte Ohr, als durch die Luft in das 23 Cm von der Platte abstehende Ohr.

Mittelst Conductoren von sehr schmalem, scharf zugespitztem unteren Ende, das an jedwedem Punkt des Hörorganes angesetzt werden konnte, wird sich ohne Zweifel auch die Leitung zu den einzelnen Teilen des Ohres messen lassen. Auf weitere Versuche, als die oben beschriebenen, die höchstens auf einen bloss casuistischen Wert Anspruch machen wollen, konnte ich mich vorerst nicht einlassen. Jedenfalls geht aus meinen wenigen Erfahrungen hervor, dass selbst an der ganz frischen Leiche die post mortem-Veränderungen der so subtil gebauten Leiter im Ohr eine rasche Vermehrung der Leitungswiderstände des Schalles bedingen.

Dritter Teil[1]).

Die Messung der Intensität gegebener Schalle.

§ 63. Die Verwendung des Schallschwächungsvermögens der Körper zur Messung der Stärke der Schalle.

Zur Bestimmung von Schallstärken, deren Entstehungsbedingungen nicht gemessen werden können, haben wir kein anderes Mittel, als dieselben durch beliebige Medien, deren Schallschwächung vorher experimentell ein für allemal bestimmt worden ist, dem Ohr zuzuleiten.

Zur Kalibrierung der schallschwächenden Wirkung der in Anwendung kommenden Medien dient selbstverständlich wiederum das Phonometer und das Fallkügelchen.

Wir gehen also bei unserer nunmehrigen Aufgabe den umgekehrten Weg, wie bei den Versuchen über das Schalleitungsvermögen der Körper, indem wir die über das letztere gewonnenen Erfahrungen und Messungen unmittelbar verwenden zur Bestimmung der Stärke irgend welcher Schalle.

Als brauchbare schallschwächende Schichten lernte ich im Verlauf meiner Studien dreierlei kennen: 1) Homogene starre Körper von (innerhalb gewisser Grenzen) beliebiger Länge. Die Wirkung wird erhöht, wenn man zwei oder mehrere derartige Körper in mehr oder weniger dünnen Plättchen durch bindende Zwischenschichten, z. B. von Siegellack, zu einem Stück vereinigt. Im Allgemeinen wird man solche Materialien wählen, deren Schallschwächungsvermögen verhältnismässig gross und zugleich auch keinen Veränderungen unterworfen ist. 2) Der Körper des Experimentators selbst, indem man, mittelst Aufsetzen des Conductors auf irgend eine Stelle des Kopfes u. s. w., die Schalleitung zum Felsenbein benützt. Wir wissen aus § 59, dass gerade mit-

1) s. pag. 2, Anmerkung.

telst dieser Leitungen sehr bedeutende und gut messbare Abschwächungen der Schalle zu erzielen sind. 3) Zwischen die Schallquelle und den in gewöhnlicher Weise an das Ohr angedrückten Conductor bringt man Teile des eigenen Körpers, auch wohl eines anderen Individuums, z. B. ein Fingerglied, die Handfläche u. s. w., deren schallschwächende Wirkung bekannt ist.

Zu physikalischen Messungen wird das erste Verfahren ausschliesslich zu verwenden sein, das dritte ist für medicinische Zwecke [1]) als besonders bequem zu empfehlen, sowie auch zur schnellen Orientierung über die ungefähre Stärke eines Schalles, worauf aber schliesslich die genauere Bestimmung mit den Hilfsmitteln des ersten Verfahrens folgen muss. Das zweite Verfahren habe ich übrigens praktisch nicht ausgeübt.

Man hat also eine Anzahl von schallschwächenden Schichten zur Verfügung, so dass, beim stufenweisen Uebergang zu immer stärker schwächenden, diejenige Schicht, welche den zu messenden Schall auf den Punkt der Ebennochhörbarkeit abschwächt, bald gefunden ist. Ausserdem steht nichts im Wege, zwei oder mehrere dieser Schichten zu einem Ganzen, ja selbst Schichten nach Verfahren 1) mit solchen des eigenen Körpers zu verbinden, indem die schallschwächende Gesamtwirkung einfach aus der Summe der einzelnen Teile sich zusammensetzt.

Als tauglichstes Verfahren werden wir die Zusammenstellung von schallschwächenden Elementen gleicher Qualität, aber verschiedener Zahl kennen lernen. Indem man eines — zwei — drei — vier u. s. w. solcher Elemente mit einander verbindet, sind so verschiedene Combinationen der Grösse der Schallschwächung schnell herstellbar, dass das Ohr des Experimentators die einander zunächst stehenden nicht mehr, oder doch nur aus den Endmitteln in zahlreich wiederholten Messungen zu erkennen vermag.

Zunächst hatte ich die Aufgabe, Anordnungen herzustellen, welche den Schall bald mehr bald weniger abzuschwächen vermögen. — Die in diesem § erwähnten schallschwächenden Schichten habe ich bei meinen Messungen unbekannter Schallstärken praktisch nicht verwendet, ich darf sie aber als Beispiele dessen, was bei derartigen Apparaten überhaupt zu erreichen ist, nicht unerwähnt lassen.

Vor Allem darf ich nicht verschweigen, dass ich unmöglich annehmen kann, die tauglichsten und compendiösesten schall-

1) Hierzu eignen sich übrigens auch andere Technicismen; vgl. H. Vierordt, Messung der Intensität der Herztöne, pag. 37.

schwächenden Schichten schon gefunden zu haben. Dies muss späterer vielseitigerer Erfahrung überlassen bleiben. Um meinen Nachfolgern unnötige Mühe zu ersparen, bemerke ich, dass Schichten, die bloss aus verschiedenen Metall- oder Holzplättchen bestehen, nicht stark genug wirken. Schichten von abwechselnden Blei- und Zinn-, oder Blei- und Zinkplättchen, oder Zink- und Holzplättchen erweisen sich als viel zu schwach.

Zunächst gebe ich Messungen an Schichten organischer Substanzen, die, an sich zwar sehr wirksam, gleichwohl nicht zu empfehlen sind, weil sie, als compressibel, nicht die geforderte Constanz der schallschwächenden Wirkung haben.

Eine dichte Baumwollschicht wurde durch eine Einfassung von dünnem Leder zusammengehalten; der Durchmesser der Schicht war 30 Mm, ihre Länge 28 Mm, im comprimierten Zustand war sie 2 Mm kürzer. Begrenzt war sie oben und unten durch zwei, mittelst Siegellack befestigte, dünne Messingplättchen, wovon eines mit einen einfachen Riegelverschluss zur Verbindung mit einem Messingplättchen des unteren Conductorendes versehen ist (H. Vierordt. l. c. pag. 17). Die Schicht wurde auf das gewöhnlich gebrauchte Zinnphonometer gestellt, und mit dem gewöhnlichen Eichenholzconductor verbunden. Die Zinnphonometerplatte wurde durch herabfallende Bleikügelchen in gewöhnlicher Weise erschüttert, der Schall der Phonometerplatte ging somit durch die Baumwollschicht zum Conductor und von da zum Ohr. Um unter diesen Umständen eine eben noch merkliche Höremp-findung zu haben, musste S_1, bei 36,5 Mg Gewicht des Fallkügelchens und 15 Mm Fallhöhe (Exponent ε der Fallhöhe = 0,60), = 185,4 sein. Wurde die Zinntafel durch ein kleines Fallkügelchen (2,3 Mg) bei 10 Mm Fallhöhe (Exponent ε = 0,49) erschüttert, so trat bei der Anwendung des Conductors allein die Schwellenemp-findung ein, also ist der Dynamiewert $10^{0,49} \times 2,3 = 7,08$. Demnach schwächt die Baumwollschicht den Schall um 185,4 — 7,08 = 178,3 s (des Zinnphonometers). Indem der Druck des Kopfes des Auscultierenden auf die Baumwollschicht wirkt, wird dieselbe comprimiert, die Lederhülle aber erschlafft, so dass die starke schallschwächende Wirkung ausschliesslich von der Baumwollschicht herrührt. Der Apparat ist aber nicht constant genug, indem die Compression der Baumwollschicht variiert.

An der gewöhnlichen Zinnphonometerplatte wurde ausserdem noch geprüft die Schallschwächung durch eine Anzahl Lagen von weichem Leder und Filz und durch eine Schicht, die aus 25 Ele-

menten bestand, von denen jedes aus einem Plättchen Papier, dünnen Pappdeckel und Leder zusammengesetzt war.

Leder-Filzschichten	7,50	S	81,0
25elementige Schicht	10,45		81,1

Also betrug die Schallschwächung im ersten Fall 73,5 s, im zweiten Fall 70,65 des gewöhnlichen Zinnphonometers.

Zu den Versuchen der nachfolgenden Tabelle 113 wurde die dickste schmale Zinnplatte von 3312 G Gewicht, die dünnste schmale Zinnplatte von 553 G Gewicht (§ 5) und die Schieferplatte verwendet. Die Versuche einer Horizontalreihe wurden je in derselben, 1 bis 2 Stunden dauernden, Versuchsreihe angestellt. Die 3 letzten Versuche an der dicksten schmalen Zinnplatte fielen in eine spätere Zeit mit erheblich grösserer Feinhörigkeit, wie die S-Werte zeigen. Als schallschwächende Schicht wurden 14 abwechselnde Lagen aus 7 Platten von vulkanisiertem Kautschuk und 7 Marmorplatten, die durch Siegellack an einander befestigt waren, verwendet; auf das unterste Marmor- und das oberste Kautschukplättchen dieser 7elementigen Schicht wurde wiederum je ein Messingplättchen befestigt. Die Gesamthöhe der sehr resistenten Schicht betrug 47 Mm, der Durchmesser der runden Plättchen 25 Mm, die Höhe der Kautschukplättchen war durchschnittlich 4, die der etwas ungleichen Marmorplättchen 2 Mm; zu ihrer Gesamthöhe von etwa 42 Mm kommen also noch annähernd 5 Mm für die 15 Siegellackschichten. Die Schicht stand auf dem Phonometer, auf der Schicht der Conductor von Eichenholz (an dessen unteres Ende wiederum ein Messingplättchen mittelst Siegellack befestigt war). Der durch Herabfallen des Bleikügelchens im Phonometer entstandene Schall ging also durch die 7elementige Schicht und den Conductor in das Ohr.

Tabelle 113.

Schallschwächung durch eine 7elementige Marmor-Kautschukschicht.

Schallquelle: dickste schmale Zinnplatte			Schallquelle: dünnste schmale Zinnplatte			Schallquelle: Schieferplatte		
S	S_1	$S_1 - S$	S	S_1	$S_1 - S$	S	S_1	$S_1 - S$
37415	407350	369935	3336	48470	45134	3166	10537	10371
29470	321050	291580	2608	48470	45862	1728	14966	13238
42508	500280	457772	2608	32200	29592	1760	17752	15992
43435	373860	330425	3400	37500	37500	1990	27400	25410
	Mittel:	362428		Mittel:	39522		Mittel:	16253
12460	237440	224980				6 weitere Versuche einer späteren Beobachtungsreihe ergaben im Mittel für $S_1 - S$ 18425.		
15700	321600	305900						
15700	391420	375720						
	Mittel:	302200						

Die S der Tabelle stellen die nach $pc = p.\sqrt{2gh}$ (§ 8) berechneten Dynamiewerte dar, erhalten beim unmittelbaren Aufsetzen des Conductors auf die betreffende Phonometertafel, die S_1 die bezüglichen Werte bei der Einschaltung der Marmor-Kautschukschicht zwischen Phonometertafel und Conductor, also ist jeweils die dritte Vertikalrubrik $S_1 - S =$ der schallschwächenden Wirkung der Marmor-Kautschukschicht, ausgedrückt in s-Werten des betreffenden Phonometers [1]).

Ueber die schallschwächende Wirkung der 7elementigen Marmor-Kautschukschicht stellte ich ausserdem eine Reihe von Versuchen an dem gewöhnlichen Zinnphonometer (von 2406 G Gewicht) und einer Eisenplatte an. Letztere wog 1457 G und war 203 Mm lang, 167 breit und 5,2 Mm dick.

Tabelle 113.

Gewöhnliches Zinnphonometer		Eisenplatte
S	S_1	S_1
4493	94304	94304
5209	80554	82713
5543	101530	69777
4861	101530	69777
6174	54937	Mittel: 79143
4101	60187	
4101	65129	
Mittel: 4926	Mittel: 81167.	

Also ist die Schallschwächung durch die Marmor-Kautschukschicht 81167 — 4926 = 76241 s des genannten Zinnphonometers. Der Dynamiewert von der Eisenplatte, der nicht in jedem der 4 Einzelversuche gemessen wurde, war 4498 s, also schwächt die 7elementige Marmor-Kautschukschicht um 79143 — 4498 = 74645 s die Eisenplatte ab.

Ferner wurde eine grössere Versuchsreihe wiederum an dem

---

1) Eine Umrechnung der pc-Werte in ph^{ε}-Werte war dem Herausgeber nicht möglich, da die ursprünglichen Daten der Fallgewichte und Fallräume ihm nicht mehr zugänglich waren. Bei einem Teil der in diesem § erwähnten Werte ist die Umrechnung noch durch den Verfasser selbst geschehen. —

Eine vom Verfasser in Aussicht genommene Tabelle der den Fallräumen 1—60 Mm entsprechenden Schallstärken samt deren Logarithmen, berechnet nach $s = h^{0,59}$, hat der Herausgeber weglassen zu dürfen geglaubt, da die Tabelle, allerdings in etwas gekürzter Form, in dessen Schrift (Messung der Intensität der Herztöne, Tab. 32) übergangen ist und ohnedies in vorliegender Monographie sehr häufig mit anderem ε (als 0,59) gerechnet werden musste.

gewöhnlichen Zinnphonometer über die schallschwächende Wirkung einer 2elementigen Marmor-Kautschukschicht anderer Construktion angestellt. Die zwei Kautschukplatten waren je 9 Mm dick, die Marmorplättchen hatten die Dicke derjenigen der oben erwähnten 7elementigen Schicht. Demnach schwächt diese Zusammenstellung den Schall viel stärker, als 2 Elemente der 7elementigen Schicht.

Ich erhielt in den Einzelversuchen 82 548 — 102 435 — 79 550 — 82 713 — 81 287 — 72 364 — 102 435 — 57 164 — 54 937 — 64 112, also im Mittel 77 954 s_1. Da der Dynamiewert rund 5000 s beträgt, so schwächt also diese Marmor-Kautschukschicht den Schall um 72 950 s des gewöhnlichen Zinnphonometers.

Die in diesem § geprüften Schichten können, da ihre schallschwächende Wirkung genügend festgestellt wurde, zu Messungen der Schallstärke benützt werden und wurden auch teilweise dazu benützt. Sie sollten aber vorzugsweise als Vorstudien dienen zu späteren systematisch angestellten Versuchsreihen.

DIE

SCHALL- UND TONSTAERKE

UND DAS

SCHALLEITUNGSVERMOEGEN DER KOERPER

PHYSIKALISCHE UND PHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

VON

KARL VON VIERORDT

DOCTOR DER MEDICIN, CHIRURGIE, GEBURTSHILFE UND NATURWISSENSCHAFT,
PROFESSOR a. D. DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN,
COMMENTHUR UND RITTER,
MITGLIED DER K. BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

NACH DEM TODE DES VERFASSERS HERAUSGEGEBEN UND MIT EINER BIOGRAPHIE DESSELBEN VERSEHEN

VON

DR. **HERMANN VIERORDT**

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN.

MIT DEM BILDNIS DES VERFASSERS.

TÜBINGEN, 1885.

VERLAG DER H. LAUPP'SCHEN BUCHHANDLUNG.

Im Verlag der **H. Laupp**'schen Buchhandlung in **Tübingen**

erschienen von

Dr. **Karl von Vierordt**

ehemals Doctor der Medicin und Naturwissenschaft, Professor der Physiologie und Vorstand des physiologischen Institutes an der Universität Tübingen

Grundriss der Physiologie des Menschen. **Fünfte** vollständig umgearbeitete **Auflage.** Mit zahlreichen Holzschnitten. XII. u. 743. Lex. 8. broch. M. 13. —

Die quantitative Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf Physiologie, Physik, Chemie und Technologie. Mit vier lithographirten Tafeln. Quart. broch. M. 6. —

Die Anwendung des Spectralapparates zur Photometrie der Absorptionsspectren und zur quantitativen chemischen Analyse. Mit 6 lithogr. Tafeln. Imp. Quart. broch. M. 7. —

Die Anwendung des Spectralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. Mit Tabellen und 3 lithogr. Tafeln. gr. 8. broch. M. 2. 50.

Die Einheit der Wissenschaften. Eine Rede gehalten in der Aula der Universität Tübingen am 6. März 1865 zur Feier des Geburtsfestes Sr. Majestät des Königs Karl von Württemberg. gr. 8. broch. M. — 75.

Zum Andenken an König Wilhelm von Württemberg. Eine Rede gehalten am 21. Juli 1864 in der Aula der Universität Tübingen. gr. 8. broch. M. — 50.

Ueber Stehen und Gehen. Ein populärer wissenschaftlicher Vortrag gehalten zu Stuttgart im Saale des Königsbaues. gr. 8. broch. M. — 60.

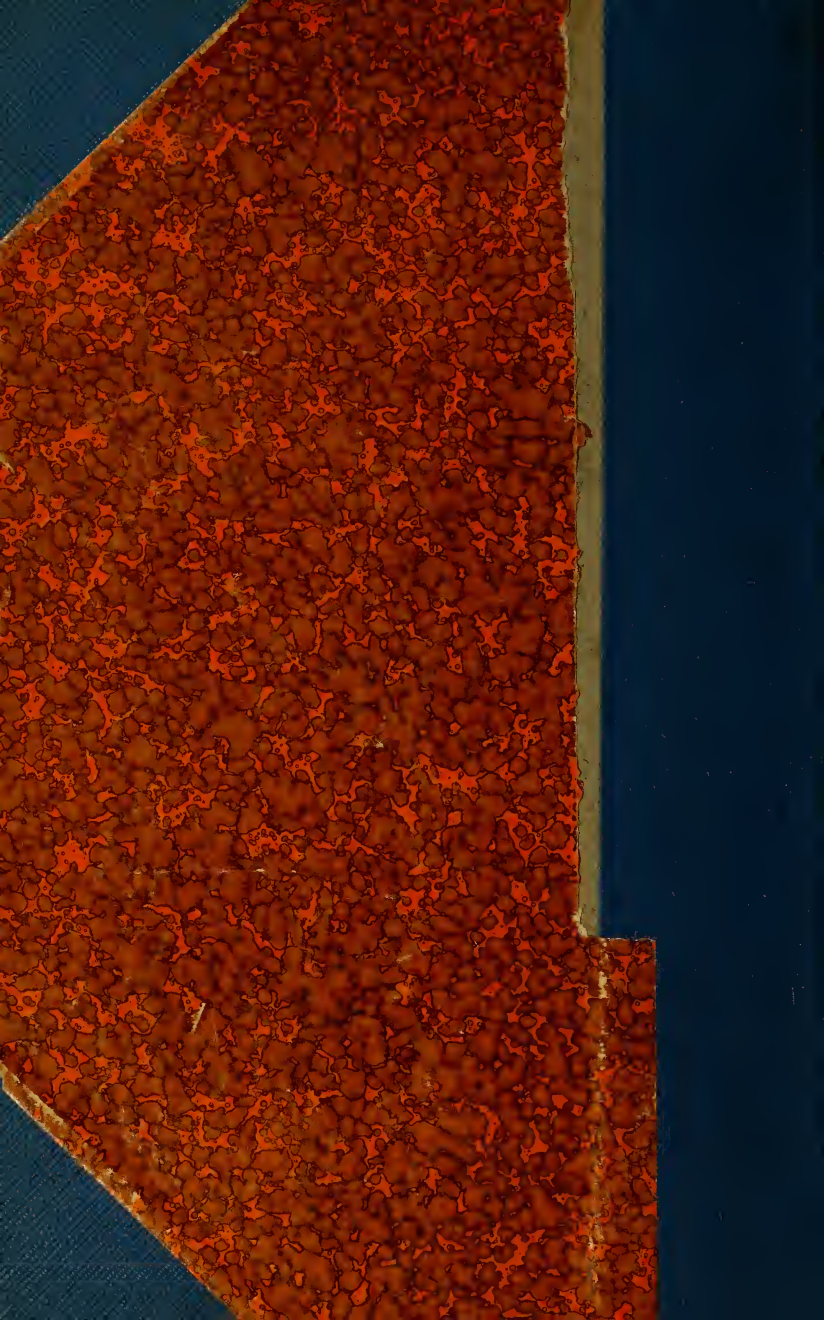
Der Zeitsinn nach Versuchen. gr. 8. broch. M. 3. —

Physiologie des Kindesalters. Zweite vermehrte Auflage. (Separatabdruck aus Gerhardt's Handbuch der Kinderkrankheiten.) Lex. 8. broch. M. 5. —

Dr. **Hermann Vierordt**

Professor an der Universität Tübingen

Das Gehen des Menschen in gesunden und kranken Zuständen. Nach selbstregistrirenden Methoden. Mit 10 lithogr. Tafeln. gr. 8. broch. M. 10.

Die einfache chronische Exsudativ-Peritonitis. gr. 8. broch. M. 3. —

Die Messung der Intensität der Herztöne. gr. 8. broch. M. 3. —